



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**SISTEMA DE DETECCIÓN DE PATOLOGÍAS DE PIE, QUE
DERIVAN EN PIE PLANO, VARO, VALGO Y CAVO PARA
NIÑOS EN EDAD ESCOLAR**

D. I. María del Refugio Patiño Moreno

Tesis para obtener el grado de Maestra en Diseño

Línea de Investigación: Nuevas Tecnologías

M.D.I. Octavio García Rubio

Director de Tesis

Dr. Emilio Martínez de Velasco y Arellano

Dr. Octavio Augusto Cross López de Llergo

Mtro. Antonio Rodrigo Abad Sánchez

Mtro. Arturo Solís García

MEXICO D. F.

Julio de 2010

Introducción

“El inconveniente más grande del arte de curar, es tener que iniciar un tratamiento antes de tener claro el diagnóstico”.¹

Es sabido que el pie plano constituye uno de los problemas de mayor incidencia dentro de la ortopedia infantil, esto ha sido motivo de numerosos trabajos de investigación, controversia y discusiones. Las enfermedades de pie en los niños en edad escolar son unas de las primeras causas de visita al Ortopedista Infantil, junto con las fracturas por accidente, sin embargo, no siempre se cuenta con un diagnóstico correcto al momento de recetar plantillas, ortesis, estudios y aparatos ortopédicos; en muchas ocasiones un mismo niño con problemas de pie, puede obtener diagnósticos abismalmente diferentes por parte de médicos especialistas, es decir, no existe hasta ahora, un criterio que unifique opiniones médicas. Existe a nivel general, una gran desinformación acerca de cómo tratar el pie plano, varo o valgo, incluso existen escuelas médicas que llegan a contradecirse.

Estos términos médicos están rodeados de una gran confusión en su análisis, detección y posible cura. En la literatura médica se ha escrito mucho acerca de este problema relativamente común; se han propuesto muchas teorías en cuanto a la etiología y el tratamiento correcto, sin embargo, faltan en la literatura estudios a largo plazo sobre aquellos que no recibieron tratamiento alguno y sobre aquellos pacientes que recibieron diversas formas de tratamiento conservador (plantillas especiales u ortesis, ejercicios, etc.)

Los métodos clásicos de análisis y diagnóstico en otras áreas diferentes a la ortopedia y al pie plano, han evolucionado en gran escala, pero los especialistas en ortopedia y podología tienden a rechazar la tecnología como apoyo a su profesión,

¹ **MARAÑÓN Y POSADILLO, Gregorio.** *Estados prediabéticos* (1927). Instituto Biomecánico de Valencia. Elsevier-Masson. 1972, p.78.

debido a que consideran que su método “tantas veces llevado a la práctica, no puede conducir a un error”, o peor aun, tienden a creer que los métodos más modernos son lujos innecesarios. Lo más grave de esto, es que muchos niños en nuestro país, hoy en día usan zapatos especiales, plantillas y/o aparatos ortopédicos que no son adecuados o que resultan inútiles, causando problemas que van desde la incomodidad hasta causar lesiones irreversibles, es decir, el diagnostico ha sido inadecuado y ese niño sufre física y psicológicamente el uso de dichos implementos, sin ninguna necesidad.

Veinticinco años de investigación, sólo concluyen que el problema radica en poder identificar alguna patología en pies lo más pronto posible, con el fin de iniciar su tratamiento correspondiente², sin embargo, en el caso del pie plano en niños, se ha demostrado que es hasta los cinco años cuando se puede empezar a evaluar objetivamente.³

² **LOVELL, WOOD W. WINTER Robert B.** *Ortopedia Pediátrica*. Buenos Aires. 2ª. edición, 1988, p. 68.

³ **ARIZMENDI LIRA, ADALID, PASTRANA EDUARDO.** *Prevalencia de pie plano en niños de Morelia*. Revista Mexicana de Pediatría. Vol. 71-2. 66-69. 2004.

Marco teórico

Mientras varios grupos han contribuido al cuidado de los pies a través de la historia, son la podiatría y la ortopedia, las que históricamente se han mostrado como las dos profesiones principales dedicadas a su cuidado.⁴

La atención y estudio de la salud de las extremidades del cuerpo humano, ha existido desde la era de los egipcios y una evidencia de ello son los bajorrelieves hallados en la entrada de la tumba de Ankmahor. El cuidado de manos y pies fue claramente representado en el arte egipcio, por lo que los especialistas afirman que además de la estética, a lo largo de la era de la civilización Egipcia, la procuración de la salud y atención médica de los pies, fue una actividad altamente practicada. A través de los relieves grabados en las tumbas particulares, los egipcios nos dejan saber entre otros datos, la profesión que practicaba en vida el difunto; la tumba del primer medico-fisiólogo data del año 2400 A.C. Desgraciadamente nadie puede asegurar que la Ortopedia fuera una actividad continua a lo largo de los dos siglos de Imperio Egipcio. Se tiene referencia de patologías en dicha época, gracias a la tumba del faraón de la Décimo-Nonena dinastía, representado con deformidad en ambos pies, en el año 1400 A.C.

Cien años después, en la Antigua Grecia, Hipócrates (460 A.C.) escribió: “Los casos de deformación en el pie congénito, son curables en su mayor parte si la desviación no es demasiado grande o el niño demasiado avanzado en su desarrollo... en una palabra, se trata de moldear el pie como la cera, se deben llevar las diferentes partes a su posición natural, las que estén desviadas o anormalmente retraídas, aprisionándolas con la mano y colocándolas en buena posición, pero actuando con delicadeza y no violentamente.”⁵

⁴ **D.R. Tollafeld, J.C. Dagnall.** *Historical perspective. Clinical Skills in treating the foot.* Pág. 12-34. Churchill Livingstone. 1997.

⁵ **BAUTISTA CORREA, FANNY.** *Tesis para obtener título de Ingeniería en Biomédica.* Aparato mecánico para un tratamiento del pie Equino. IPN. UPIITA. 2004.

Las callosidades y juanetes también fueron descritos por Hipócrates, quien reconoció su propia necesidad de eliminar la piel endurecida, para posteriormente tratar el origen del malestar o enfermedad. Él inventó un “raspador de piel” para este propósito, dando así origen al bisturí.

Callus, un científico y filósofo romano fue probablemente el responsable de dar nombre a los “callos”; tiempo después, Pablo de Aegina (615 -690 d.c.) describió el “callo” como “un cuerpo redondo y blanco, como la cabeza de un clavo, que se podía formar en cualquier parte del cuerpo pero especialmente era muy frecuente en la planta de los pies y los talones, por lo que debían ser retirados del pie al poco tiempo de nacidos, usando un escalpelo o bisturí, o bien, lijándolos con una piedra porosa. (piedra pómez.)”⁶

Particularmente, el pie plano, fue comúnmente entendido como un problema de salud mental, desgracia y maldición. El demonio era representado con pezuñas triangulares o puntiagudas (como la cabra), pero sus discípulos tenían pie plano; incluso el uso de calzado cubierto en esa época era visto con sospecha, pues la creencia era que se pretendía esconder un pie con deformidad.

A través de la historia, los zapateros fueron mal juzgados por ser personas con historias ocultas e irónicamente, en Roma, muchos religiosos y hombres santos, vivían de un modo austero como fabricantes de sandalias durante el día, pero en la noche convocaban a la oración de evangelios subversivamente. En la Edad Media, los zapateros ganaron fama al acceder a la fabricación de calzado “con actitud”, por ejemplo, zapatos que reflejaran el resurgimiento del paganismo.

La razón por la cual el pie plano fue traducido como un signo de maldición, no es muy claro, pero probablemente se origine por ser lo opuesto al ideal cristiano de la

⁶ <http://www.colegiodepodiatría.com/index.htm>. Investigación del Instituto de Investigación y Educación Superior A.C. Colegio de Podiatría de Monterrey.

perfección. Fue gracias a las creencias judeo-cristianas de estar hechos a imagen y semejanza de Dios, que surge entonces la definición de la perfección artística, ampliamente mostrada en el arte contemporáneo, pinturas y esculturas que mostraban pies arqueados, bellos, perfectos.

El pie plano fue considerado iconoclasta o “no cristiano.” En la Edad Media las personas con un notorio pie plano, eran especialmente marcadas, a pesar de demostrar el pertenecer a una buena y honesta familia; de cualquier modo eran condenados a ser segregados, maltratados y abandonados a su suerte, a la par de los enfermos de lepra o alteraciones reumatoides. La iglesia no desalentaba tan inepta forma de pensar, muy al contrario, tendía a asociar las patologías del cuerpo humano y particularmente las de pie, con posesiones demoníacas. Muchas supuestas brujas fueron condenadas a muerte, bajo la acusación de tener malformaciones, por ser “no naturales.” Tras siglos de evolución y estudio, la profesión médica reemplaza el término “demonios” por el de “enfermedad.”

Arceau en el siglo XVII en Paris, recomendaba ya el uso de aparatos mecánicos con los que se corregía gradualmente la malformación.

Durante el siglo XVIII y XIX, los científicos creían en el Darwinismo con la pseudo-científica teoría de que unas razas eran genéticamente más fuertes que otras. Las razas más bajas en la escala de la fortaleza eran las aborígenes, seguidos muy de cerca por su “fragilidad” estaban los moradores de “ghettos” de raza blanca en ciudades europeas, como la raza judía; después de muchos años de investigación, se concluye que el factor principal por el cual la raza judía era relacionada con “debilidad”, era porque un alto rango de la población judía presentaba pie plano. Este concepto fue usado errónea y lastimosamente para justificar el porqué eran físicamente incapaces de contribuir con la sociedad a la que pertenecían. Tiempo después, el término médico de pie plano fue unido con el de “pie judío” y nadie que lo sufriera, podía ser considerado flojo o inútil. Esto en referencia particular al varón, pues es el varón de dicha raza quien hasta la fecha, rehúye el aceptar que padece

problemas de pie.⁷ En el siglo XIX, a pesar de la atroz justificación basada en el antisemitismo, se concluyó que se trataba de una situación mecánica del pie, denominada “pie flexible”.

Continuaron los estudios anatómicos y científicos que complementaron la experiencia tomada en el reclutamiento de hombres para la Primera Guerra Mundial; dada la necesidad de reclutar gran cantidad de soldados, se pasa por alto las condiciones del arco plantar, error que repercutió en pérdida de hombres, tiempo y dinero durante la guerra, por lo que muchos hombres fueron enlistados inútilmente, pues presentaron fatiga de pie y pierna crónica desde los inicios del entrenamiento, en parte por un régimen militar cruel y en parte por incapacidad real del soldado.

Es hasta 1970 cuando se profundiza en el estudio del pie plano, pie cavo, pie varo y pie flexible; ello desemboca en estudios de biomecánica de pie y el tratamiento adecuado para cada uno de ellos, por lo que en la mayoría de los casos y para situaciones no muy graves, se indica el denominado “tratamiento conservador”, basado en ejercicios y plantillas especiales para dotar de soporte al arco longitudinal del pie.

Estos tratamientos son remitidos al manejo de profesionistas calificados, como el cirujano ortopedista y el podiatra. Pioneros como Franklin Charlesworth, de Manchester, Inglaterra, construye la especialización en trabajo mecánico del pie (ortesis) basándose en sus publicaciones acerca de podiatría y ortopedia, en los años 60s y 70s; él crea el puente entre las disciplinas conocidas como Podología, en el Reino Unido y Podiatría, en los E.U.A.⁸

La podología y los problemas que afectan a los pies siempre han existido desde épocas remotas. Estudios realizados por el podólogo José Eduardo Alvarado

⁷ **ZAMUDIO LEONARDO.** *MANUAL DE ZAPATOS Y APARATOS ORTOPEDICOS.* Ediciones Científicas, La Prensa Medica Mexicana SA de CV. México. 3ª. Edición. 1995.

⁸ <http://podiatry.curtin.edu.au/profess.html#asia>

Villanueva, remontan la podología hasta la época de los mexicas. Sin embargo a nivel nacional existe poca información sobre las patologías de pie en épocas precolombinas; evidentemente debió haber existido en los niños de aquella época, pero la información que hay al respecto es casi nula aunque es sabido que estas problemáticas eran tratadas por un “curandero” especializado.

En México, los mexicas recurrían al cuchillo de piedra o en su defecto, a cualquier otro objeto filoso al cual llamaban Izteximanloni, para cortar las uñas. Tenían la creencia de que las uñas no se debían tirar, sino arrojarlas al agua para evitar la pérdida del Tonalli (fluido mágico) que ellos creían que tenemos en el cuerpo. Para tratar las durezas o callosidades en los pies, que llamaban Caczolli, usaban piedra pómez, que es una roca volcánica muy porosa y ligera con la cual lograban un verdadero alivio frotando con ella las partes del pie afectadas.

Los “corredores” que hacían llegar los diferentes alimentos a la cocina del emperador Moctezuma haciendo largas caminatas a través de todas las regiones del país, eran relevados cada cinco o seis kilómetros, utilizando el sistema de postas. Llegaban a sentir tal cansancio, que escogían del bosque determinadas hierbas con las que hacían un manojo y se “barrían” con él las piernas y los pies, colocándolo después sobre un montículo de piedra con el objeto de que el cansancio quedara en dicho lugar. No se debían tocar estas piedras ya que quien lo hacía recibía el cansancio abandonado y también sufría del robo del calor, así como el ataque de fuerzas nocivas que se manifestaban en dolor de tobillos y muñecas.⁹

Tiempo después, la podología nos llega de Europa cuando arriban los españoles a México, quienes nos traen este conocimiento empírico que se practicaba en España y se nombraba a los que trataban problemas de pies como “callistas”. Al llegar a México abrieron fuentes de trabajo y actuaron como preceptores para distintos grupos familiares, los cuales, aún a la fecha han venido manejando la práctica de atención de pies en sus establecimientos.

⁹ <http://www.podologiaepm.edu.mx/html/historia.html>

Los avances de la medicina en Europa fueron respetuosamente seguidos en México, con un profundo reconocimiento a las teorías de Galeno e Hipócrates. Las novedades solo se conocían por los médicos que emigraban de Europa, la educación médica era tutelar y los textos consultados provenían de países como Francia y Alemania, con el consecuente retraso debido a las grandes distancias y los tiempos que se hacían por vía marítima.

Durante esta época nuestro país vivió varios conflictos armados con gran número de lesionados que constituían un grave problema de salud.

En el siglo XIX se producen una serie de hechos que marcan el desarrollo de la Traumatología y Ortopedia; en primer lugar la fusión de la medicina y cirugía, pasando ésta a ser considerada como una ciencia; en segundo lugar, el inicio y el desarrollo de la anestesia permite realizar una cirugía enfocada a los resultados, más que a la rapidez; en tercer lugar, el desarrollo de la asepsia y la antisepsia posibilita una cirugía más segura permitiendo el desarrollo de técnicas quirúrgicas más sofisticadas; por último, al finalizar el siglo el descubrimiento de los rayos-X, posibilita un abordaje directo en cada patología ósea.

Todo esto dio como resultado el aumento espectacular de las tasas de supervivencia de los pacientes con fracturas graves; las limitaciones de tiempo desaparecieron, desarrollándose rápidamente nuevas técnicas, sin embargo, un nuevo problema empezó a aparecer con el aumento de la duración de las intervenciones: la infección de la herida quirúrgica y posteriormente, la septicemia y la muerte, eran más frecuentes que la recuperación del enfermo; hasta el descubrimiento del origen de las infecciones, su prevención y tratamiento, fue cuando comenzó el desarrollo de la cirugía.

Las aportaciones científicas en el siglo XIX se producen a gran escala destacando la supremacía de los autores anglosajones que fue exportada, a principios del siglo XX,

al nuevo continente; México inmerso en una serie de guerras presentaba los accidentes y heridas como una de las patologías más comunes de la época y siendo España y Francia la vía de acceso del conocimiento médico, el país recibe a través de diferentes médicos su constante actualización.

Derivado de estos estudios, se propuso el reposo prolongado como tratamiento de las articulaciones, para lo que se diseñaron un gran número de férulas, destacando la llamada férula de Thomas, que aún se utiliza en muchos hospitales para el tratamiento de las fracturas de fémur.¹⁰

Surge en Estados Unidos en 1928 una compañía que años después llega a México, fundada para vender productos relacionados con la problemática del pie para tratar distintas patologías; a esta compañía se le unen grupos familiares empíricos, autodidactas o educados por un preceptor, surgiendo en nuestro país los establecimientos conocidos como casas del Dr. Scholl's.

Existe información sobre “podología”, como la disciplina curativa de ese tiempo, a diferencia de la actualidad, donde es la Ortopedia, la encargada de sanar nuestros huesos.

La palabra podología se deriva de “podos”, pie y “logos”, tratado,¹¹ así que es la especialidad encargada de la exploración física, diagnóstico y tratamiento de las alteraciones congénitas y adquiridas que afectaban los pies, desde la infancia hasta la tercera edad.

La Academia Mexicana de la Lengua la define como: “Rama de la actividad médica que tiene por objeto el tratamiento de las afecciones y deformidades de los pies, cuando dicho tratamiento no rebasa los límites de la cirugía menor”

¹⁰ http://smo.edu.mx/centro/historia_mexico_cuerpo.php. Pagina web de la Sociedad Mexicana de Ortopedia.

¹¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Podolog%C3%ADa>

Hoy por hoy, tanto la Podología, como la Ortopedia se mantienen activas en el tratamiento de enfermedades del pie; la primera se mantiene solamente a nivel técnico profesional y la Ortopedia Médica, como una especialidad científica, de alto reconocimiento a nivel profesional, siendo esta, la única autorizada para llevar a cabo cirugías y tratamientos expertos en enfermedades de huesos. Asimismo, un grupo reducido de profesionales se avoca a la elaboración de planes y programas de estudios avalados por la Secretaría de Educación Pública (SEP) y la Dirección General de Estudios Tecnológicos e Industriales (DGETI) para la carrera de Técnico Profesional en Podología.¹² De estos programas, el Técnico en Podología, tendrá conocimientos esenciales sobre anatomía y fisiología del pie y de la pierna. La Clínica podológica abarca seis semestres con contenidos de química, artrología y miología del pie, asepsia, antisepsia y desinfección entre varios.

Ya en el presente, resulta muy significativo por la importancia del tema y su incidencia en las familias mexicanas del siglo XXI, dado que el tema problema de patología de pie en infantes es mencionado en un sitio oficial gubernamental; se cita a continuación información oficial acerca del tema y su frecuencia en la sociedad mexicana; publicado en la página de Internet de la Presidencia de la Republica Mexicana:¹³

Problemas más comunes:

"En México, las afecciones ortopédicas más comunes entre los niños son:

- **Pie plano:** No existe todavía un consenso generalizado para delimitar con precisión en qué medida un pie determinado es normal o no. El pie plano es la ausencia o pobre definición del arco longitudinal, sobre el cual se realiza el apoyo.

¹² <http://www.podologiaepm.edu.mx/html/historia.html>

¹³ Presidencia de la República Mexicana, recuperada el 14 de marzo de 2007 desde <http://fox.presidencia.gob.mx/buenasnoticias/?contenido=8748&pagina=339>

- **Arco alto o pie cavo:** El arco alto o pie cavo se presenta cuando el arco que va desde los dedos del pie hasta el talón está demasiado elevado.
- **Rodillas hacia adentro o genu valgo:** Cuando las rodillas están juntas, los tobillos separados.
- **Piernas de charro o genu varo:** Se trata de una condición en la que el individuo estando de pie, junta sus pies y tobillos pero las rodillas permanecen ampliamente separadas. La marcha puede ser bamboleante y se produce torsión de los pies hacia adentro.
- **Escoliosis:** Es una curvatura lateral (alejada de la línea media) o hacia los lados de la columna vertebral.”¹⁴

¹⁴ **REVISTA MEXICANA DE PEDIATRIA.** Artículo: *Prevalencia de pie plano en niños de Morelia*. Volumen 71. Numero 2. Abril 2004. Sociedad Mexicana de Pediatría AC.

Problema

No existe un criterio para diagnosticar a niños con patologías comunes de pie, lo que deriva en clara ineficiencia en su tratamiento y rehabilitación; tanto el diagnóstico, como la fabricación de plantillas están basadas en la observación, valoración y experiencia del médico o técnico.

Carencia de geometría del pie y datos paramétricos que indiquen acerca de la gravedad de la patología y como consecuencia, falta de información precisa para manufacturar dichas plantillas.

Justificación del Proyecto

“El conocimiento de lo normal y lo anormal para cada fase del desarrollo músculo esquelético y el manejo de los problemas para las distintas edades, nos hará sentirnos más cómodos ante un problema ortopédico infantil”¹⁵

La finalidad del presente trabajo no es hacer una compilación médica sobre enfermedades, diagnósticos y tratamientos a seguir, muy al contrario, se pretende que este estudio sirva para exponer de manera clara y concreta el modo de detectar con mayor prontitud, patologías en pies de los niños, como analizarlos para lograr un diagnóstico rápido y confiable, a través del uso de las nuevas tecnologías, reduciendo tiempos para su diagnóstico y optimizando los servicios de salud en este rubro; también este estudio, tiende a facilitar al médico sea pediatra u ortopedista, la detección temprana y confiable, de alguna de las patologías de pie en niños.

El diccionario define al miembro inferior “pie” como, extremidad distal del miembro inferior que sirve para el apoyo y deambulación”¹⁶.

¹⁵ STAHELI, LYNN T. (1950), *Ortopedia Pediátrica*, Marban Libros.

¹⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Pie>

El pie es una estructura del cuerpo humano muy compleja, que coordina 107 ligamentos, 19 músculos intrínsecos, con 26 huesos, y que nos permitirán caminar cuando menos 150,000 Km., a lo largo de nuestra vida,¹⁷ según investigaciones de J.R. Ebri, investigador Especialista en Traumatología y Ortopedia del Instituto Valenciano de Ortopedia Infantil.

De acuerdo con información proporcionada por *Clínica de Medicina del Deporte de la UNAM* y el Dr. Miguel Aguilar Casas, ex - Presidente de la Sociedad Mexicana de Ortopedia:

- En México, ocho de cada diez niños tienen problemas de pie desde su primer año de vida.
- 60% del adulto mexicano sufren problemas de rodilla, cadera y columna vertebral, debido a un mal diagnóstico en la infancia.
- 80% de los adultos presentan problemas en los pies en su madurez.¹⁸

Es sorprendente que aún en nuestros días y con altos niveles de investigación en biomédica y biomecánica, el diagnóstico común para niños con pie plano, varo o valgo se siga realizando, a través de su pediatra o en su caso por un ortopedista infantil, quien en la mayoría de los casos, a “simple vista”, detecte el problema, lo valore y lo “medique” a través de recetar plantillas o aparatos ortopédicos, que él prescribe según su criterio y experiencia.

Este planteamiento resulta de suma importancia pues un mal diagnóstico en este tipo de patologías de pies a temprana edad, sin lugar a dudas desencadenará otro tipo de traumas a futuro, como por ejemplo, problemas de rodilla, cadera o columna vertebral; ese niño podría sufrir en su vida adulta, consecuencias de una inadecuada atención médica, mismas que pudieron haber sido evitadas.

¹⁷ **J.R. Ebri.** *El pie infantil: crecimiento y desarrollo.* Pediatría Integral 2002; 6(5):431-452.

¹⁸ Fuente: entrevista con el Dr. Aguilar Casas. Información en base a su experiencia médica.

Existe una gran confusión sobre cómo diagnosticar un pie enfermo, existiendo un enorme grupo al cual beneficiar a través de un estudio real y preciso sobre su problema de pie, sobre todo si se habla de que este enorme grupo de niños con un mal diagnóstico de algún problema de esta naturaleza en sus pies, podría como se menciona anteriormente, acarrear problemas de postura, rodilla, cadera y columna vertebrada en su vida adulta.

Hoy en día, la tecnología ha venido a cambiar nuestro mundo y el modo como se interactúa con él.

Por supuesto, es imposible generalizar, pero se considera que debido al desconocimiento de los padres de familia del tema medico-ortopédico (como es natural), existe una falta de parámetros tangibles al dar un diagnóstico de pie plano basado sólo en su criterio, tomado de una simple observación directa, sin considerar datos precisos, numéricos, cuantitativos con los cuales evaluar, comparar y valorar óptimamente al paciente.

En ocasiones se dan diagnósticos cruzados si se consulta a dos médicos ortopedistas.... ¿Por que suele suceder esto? Sin lugar a dudas, es debido a que no existe un parámetro tangible y cuantitativo que avale el tratamiento.

La valoración médica en la mayoría de los casos se da por observación simple, por lo que el diagnóstico es totalmente fijado por el criterio personal, no existe un criterio médico que estandarice el diagnóstico y tratamiento a seguir. Analógicamente, se expone como ejemplo la utilidad de un termómetro; éste instrumento señala claramente el nivel de “seriedad” en un caso de infección: a mayor temperatura, mayor infección; en este argumento existe una valor real, numérico, no tan sólo apreciativo. Asimismo, cabe subrayar lo siguiente: una plantilla mal prescrita a un paciente con previos problemas de pie, definitivamente no sólo empeora el problema, sino que logra transmitir dicho desajuste, pero en sentido ascendente, es decir, puede incidir en pie, tobillo, rodilla, cadera y columna vertebral.

A continuación se presenta un diagrama que ilustra la estructura del modelo del sistema por diseñar (**Ver Figura 1**) del problema en general a resolver; se desglosa la problemática y el proceso a seguir.

Sistema de Detección de patologías de pie, que derivan en pie plano, varo, valgo y cavopara niños en edad escolar

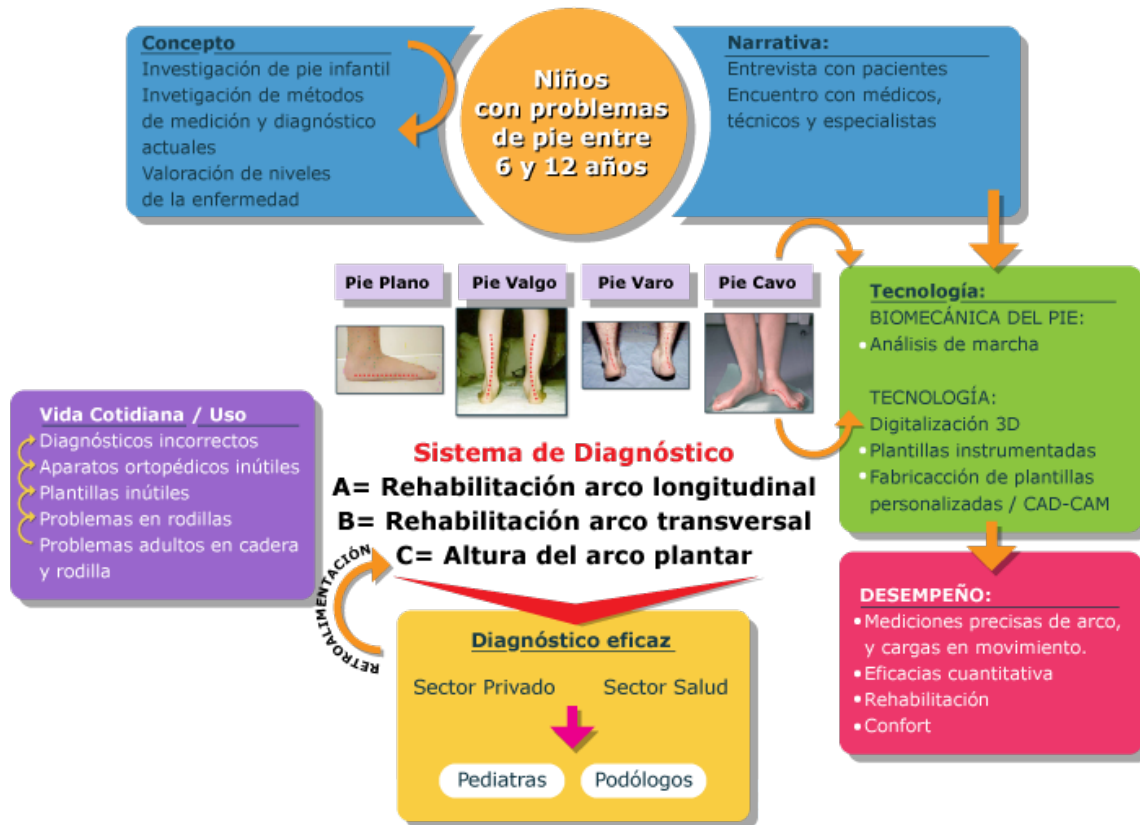


Fig. 1 Modelo del sistema por diseñar
Elaborado por la autora.

Hipótesis

Se propone el diseño de un sistema de detección de patologías de pie, que derivan en pie plano, varo, valgo y cavo para niños en edad escolar; este sistema daría la pauta para diseñar una herramienta auxiliar en la correcta detección, evaluación y diagnóstico para dichas enfermedades de pie infantil más comunes en nuestro país. Podría ser usado tanto por pediatras como por ortopedistas como una herramienta más que les permita, de acuerdo con su criterio, realizar un diagnóstico más objetivo y eficaz, que a su vez, redunde en beneficio de los niños con patologías de esta naturaleza. Asimismo, que permita:

- Facilitar el diagnóstico del paciente
- Liberar a los padres de familia de preocupaciones sobre si sus hijos tienen el pie plano o qué tipo de patología tienen; y por consecuencia liberarlos de gastos en estudios de gabinete y plantillas innecesarias, ya que el estudio es rápido y objetivo.
- Beneficiar al niño, que tendrá la oportunidad de seguir su vida normal, sin plantillas ni ortesis inútiles o, en su caso, que su problema se aborde seriamente y científicamente con un tratamiento personalizado de acuerdo a su problemática, como consecuencia del grado de exactitud en la detección de patologías.

Con base en la necesidad de un protocolo de medición homogéneo para el diagnóstico en las enfermedades principales del pie infantil se plantea la siguiente hipótesis:

Mediante mediciones básicas del pie infantil, lograr ubicar puntos estratégicos en su anatomía que permitan clasificarlo dentro de parámetros ya sea “de normalidad” o de patología, su nivel de severidad y en consecuencia, la adecuada rehabilitación para cada caso particular.

Objetivos

a) Objetivo general:

El propósito de este trabajo es el diseño y desarrollo de un sistema capaz de ser utilizado por médicos pediatras u ortopedistas con la finalidad de poder evaluar y diagnosticar eficazmente el tipo y grado de patología de pie (pie plano, valgo, varo, cavo) en niños en edad escolar, asimismo, basándose en dicho diagnóstico, apoyarse en las Nuevas Tecnologías para la generación de plantillas personalizadas para cada paciente; deben distinguirse rangos de desviación entre:

- Pie sano
- Pie con ligera desviación que debe ser tratado solo con ejercitación.
- Pie enfermo, que requiere el uso de plantillas especializadas.

b) Objetivos particulares:

- Ubicar puntos importantes en la estructura ósea del pie, determinantes en la salud del pie.
- Analizar métodos de diagnóstico usados hoy en día y tipo de rehabilitación en niños.
- Detectar parámetros para medir rangos de enfermedad.
- Aprovechar las Nuevas Tecnologías como apoyo a la investigación.
- Generación de plantillas personalizadas para el paciente mediante CAD-CAM.

CAPITULO 1

El pie

El pie es el segmento distal de la extremidad pélvica, siendo homólogo de la mano, sus funciones principales no son de aprehensión y tacto, sino de soporte, propulsión y amortiguamiento. (Ver Figura 2).



Fig. 2 Planta del pie. Imagen recuperada desde <http://blog.art251.com/2008/12/>

Es una estructura perfectamente diseñada con un complejo y elevado componente de fuerza, flexibilidad y movimiento coordinado. Transmite las tensiones por todo el cuerpo cuando se camina, corre y salta. El pie en su conjunto, es la zona anatómica que mas ha debido evolucionar para la adquisición de la locomoción bípeda humana.¹⁹

1.1 Anatomía Biomecánica del Pie

1.1.1 División anatomo-funcional del pie

El pie está dividido en tres unidades anatomo-funcionales a saber:

- Retropie: Parte posterior del pie (talón), constituido por el astrágalo que se articula con el calcáneo, formando la articulación subastragalina (punto de apoyo posterior.)

¹⁹ **VAZQUEZ VELA, GONZALO.** *Deformidades del pie. Tratamiento Conservador.* Editorial Limusa. México. 1987.

- Mediopie: Parte media, como el empeine (aunque no se menciona en toda la literatura), está formado por el escafoides (hueso navicular) que se articula con la cabeza del astrágalo, la parte delantera del calcáneo, el cuboides que se articula el escafoides y las bases de los metatarsianos.
- Antepié: Parte anterior del pie (dedos y en algunas teorías, el empeine es incluido como antepié). Formado por los cinco metatarsianos y las falanges proximales, medias y distales (estas últimas del 2° al 5° dedos), articuladas formando los diferentes rayos del antepié. **(Ver Figura 3)**

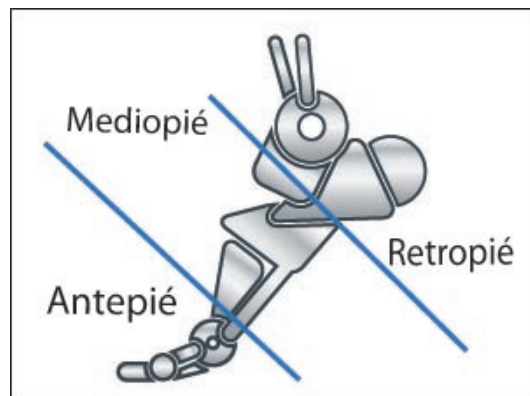
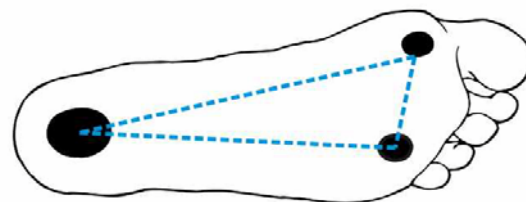


Fig. 3 División anatómo-funcional del pie.
Diagrama elaborado por la autora.

La disposición de todos los huesos entre sí forma una bóveda en la parte media del pie, que le da una gran resistencia para la carga de peso y el esfuerzo y que está apoyada en tres puntos que se conocen como Trípodode Podálico o Tripié Plantar. (Ver Figura 4)



**ZONAS DE APOYO
TRIPIÉ PLANTAR**

Fig. 4 Trípode Podálico.
Diagrama elaborado por la autora.

Los ligamentos articulares son los elementos estáticos del pie que mantienen unidos la estructura ósea para darle soporte a los arcos, es decir, que la estabilidad estática la dan los ligamentos, donde el elemento dinámico son los músculos, que le dan resistencia y movimiento. (Ver Figuras 5 y 6)

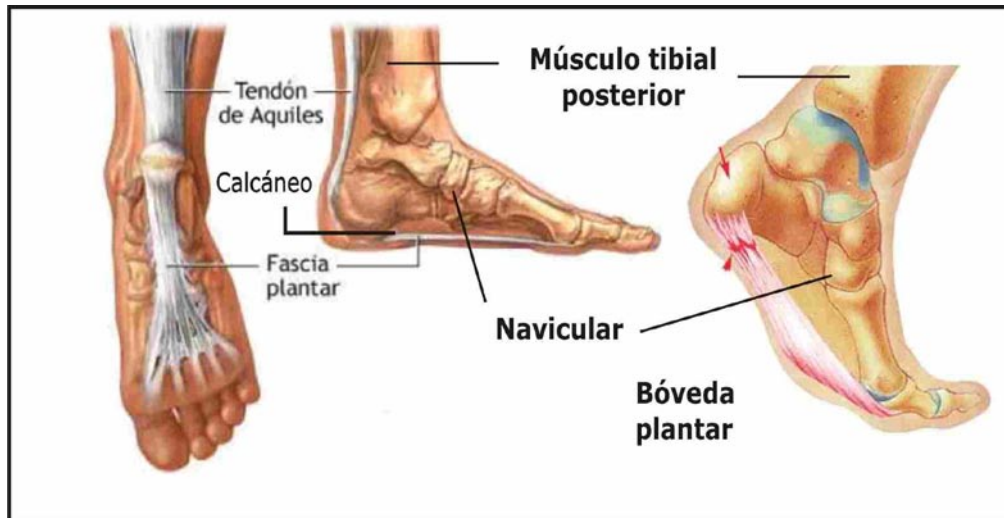


Fig. 5 Interacción de huesos, tendones y músculos del pie.

Recuperada de <http://www.visionmedicavirtual.com/es/modelos-3d>

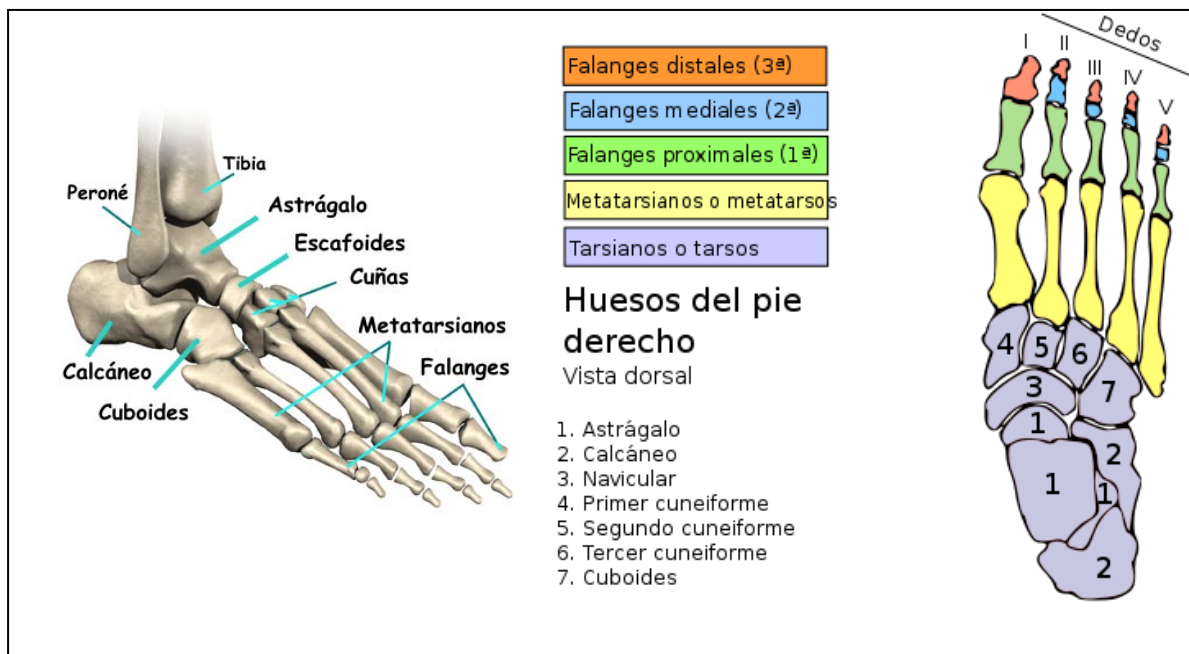


Fig. 6 Estructura ósea del pie

Recuperada de <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ospied.svg>

Si se mantienen en equilibrio las fuerzas evertoras, que son aquellas fuerzas que permiten la rotación del pie hacia los lados, junto con las invertoras que logran una rotación interna del pie, así se mantiene un buen balance y por lo tanto la altura fisiológica de sus arcos.

Además de la marcha, el pie tiene entre otras funciones: sujetarse al terreno, patear, trotar, soportar peso, empujar, correr, saltar, sentir, etc.²⁰

La estructura ósea del pie debe adaptarse a la gran variabilidad de los terrenos sobre los que se pisa durante la vida, a diferencia de la mano, el pie debe ser estable.

1.1.2 Arcos del pie

El pie a diferencia de lo que se piensa tiene dos bóvedas o arcos a saber:

El arco longitudinal

En el lado interno, el cuello del astrágalo forma la llave del Arco Longitudinal, que está reforzado por el ligamento en resorte entre la apófisis menor del calcáneo el escafoides; también actúa como soporte el ligamento en “Y” de Bigelow, entre el calcáneo, el escafoides y el cuboides; el tendón tibial posterior e, indirectamente, el flexor largo del dedo gordo soportan el arco interno. El cuboides forma la llave del arco longitudinal lateral²¹. Este arco será el que se analizará en el proyecto actual, dado que allí radica la base de la problemática estudiada.

²⁰ HOHMANN Georg Dr. *PIE Y PIERNA*. Edit. Labor S.A. Buenos Aires. (1949).

²¹ CHUINARD, G. OLLERENSHAW, L. *Desequilibrio de las musculaturas intrínsecas y extrínsecas del pie*. 1973.

El arco transversal

Existe en el nivel del antepie y está constituido por las cabezas de los cinco huesos metatarsianos; tiene relevancia para el diagnóstico y rehabilitación de pie plano y pie cavo; posteriormente se explicará a detalle. (Ver Figuras 7 y 8)

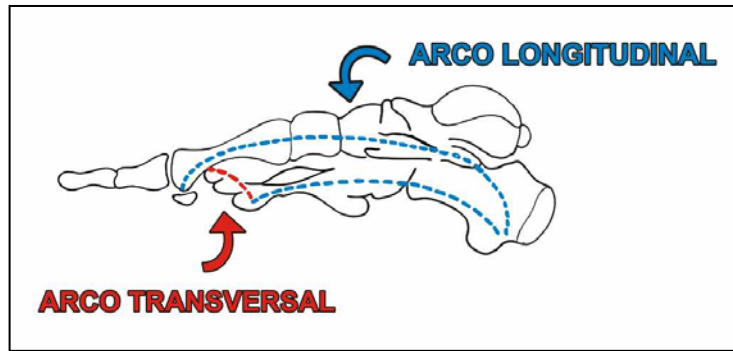


Fig. 7 Arcos del pie: longitudinal y transversal.
Diagrama elaborado por la autora.

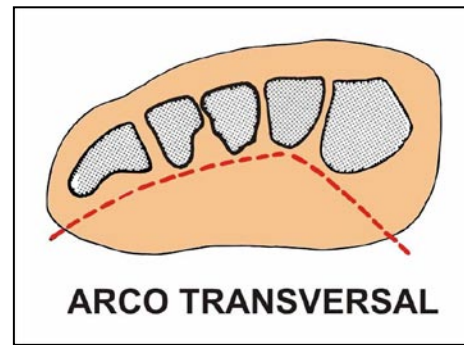


Fig. 8 Corte del Arco Transversal.
Diagrama elaborado por la autora.

El pie es un tripié constituido principalmente por tres puntos de apoyo, que le proporcionan junto con los arcos transversal y longitudinal, la elasticidad y soportes necesarios para lograr estabilidad y absorción de impacto durante la marcha; su adecuado funcionamiento depende de una compleja relación entre elementos óseos, músculos y ligamentos, donde cada elemento debe contar con adecuada fuerza y posición en sus elementos, de tal forma que su disposición y correcta interrelación determinan el grado de salud del pie a tratar. He ahí la complejidad de las patologías en pie, pues son muchas las variantes inmersas.

Los arcos transversales son menos pronunciados que los longitudinales. Ambos arcos son importantes, pero definitivamente es el arco longitudinal (junto con todos sus elementos) el que determina el tipo y grado de patología a tratar.

En el arco transversal reposo, el peso cae la primera y quinta cabeza, pero al momento de cargar el peso del cuerpo sobre el pie, el arco normalmente se aplana y las cinco cabezas de los metatarsianos entran en contacto con el suelo.

En cuanto al arco longitudinal, estando en carga, este sufre un cambio en su longitud o aplanamiento (Ver figura 9), este cambio en los arcos plantares, por el desplazamiento de huesos y ligamentos, bajo la acción de la carga, puede observarse muy claramente en las siguientes radiografías. (Ver figuras 10 y 11)

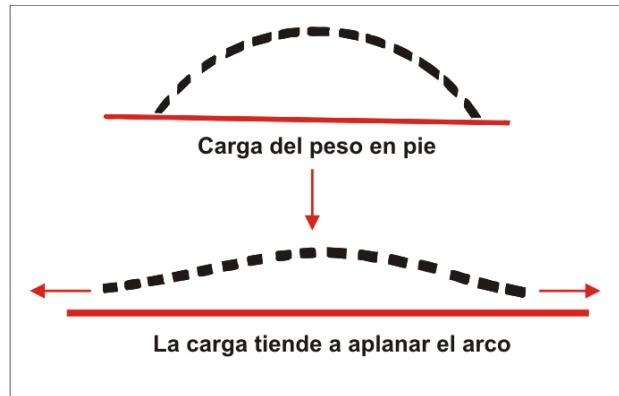


Fig. 9 Conducta de arcos plantares en carga.
Diagrama elaborado por la autora.



Fig. 10 Radiografía pie sano
Recuperada de
www.mdconsult.com/.../0/0/10041/19665_es.jpg



Fig. 11 Radiografía pie plano grado 4.
Recuperada de
www.mdconsult.com/.../0/0/10041/19665_es.jpg

1.1.3 Deformidades más comunes en pie infantil

Existen diversas deformidades en el pie infantil; muchas de ellas no serán abordadas en la presente investigación pero vale la pena mencionarlas con el fin de contextualizar la problemática de las mismas:

- **PIE PLANO:** Pie que presenta una caída parcial o total en arcos plantares.
- **PIE VARO:** Pie en el que el talón mira hacia dentro y se dirige hacia dentro.
- **PIE VALGO:** Pie en el que el talón mira hacia fuera y se dirige hacia fuera.
- **PIE ADDUCTO:** El antepié se desvía hacia dentro.
- **PIE ABDUCTO:** El antepié se desvía hacia fuera. (Ver Figura12).



Fig. 12 Diagrama Pie Abducto y Adducto
Diagrama elaborado por la autora

- **PIE SUPINADO:** La planta del pie mira hacia dentro.
- **PIE PRONADO:** La planta del pie mira hacia fuera. (Ver Fig. 13).



Fig. 13 Diagrama de pie en Pronación y Supinación
Diagrama elaborado por la autora

- **PIE TALO:** Pie que apoya con el talón exclusivamente.
- **PIE EQUINO:** Pie que apoya con el antepié solamente.
- **PIE ZAMBO:** Es todo pie que no reposa en el suelo sobre sus apoyos normales; si bien el Pie Zambo, generalmente se refiere al que es "Equino-Varo-Adducto y Supinado".

Estas deformidades pueden combinarse, siendo muy raras las deformidades en un solo plano, así hay Pies Talo-Valgos, Equino-Varos, etc. A continuación se explican un parámetro que permite valorar la reductibilidad.

1.1.4 Fisiología Astrágalo-calcánea

Toda la fisiología del pie está regida por dos huesos esenciales que se encuentran en el retropié: el Calcáneo por fuera, y el Astrágalo por dentro, estos huesos forman entre sí un ángulo, de unos 40° tanto de frente como de perfil, que es lo que denominamos "Compás Astrágalo-Calcáneo"; pues bien, cualquier alteración de este ángulo o compás, ocasiona automáticamente alteraciones que se propagarán al resto del pie. Esto se debe a que el Calcáneo controla y dirige los dos ejes o radios externos del pie (los correspondientes al 4º y 5º dedos); mientras que el Astrágalo dirige los tres ejes o radios internos (correspondientes a los 3 primeros dedos); así, por ejemplo, en el Pie Plano, el ángulo o compás astrágalo-calcáneo es siempre mayor de 40° ; mientras que en el Pie Zambo equino-varo, siempre es menor de 40° (el pie se "encoge" sobre sí mismo, y los dos huesos se superponen en el frente y en el perfil). (Ver Figura 14)

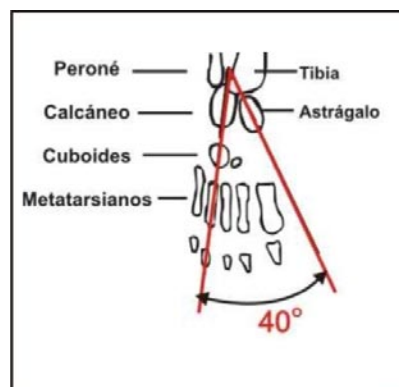


Fig. 14 Vista anteroposterior de divergencia astrágalo-calcánea sana a 40°
 Recuperado de <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001262.htm>

1.1.5 Reductibilidad

Se refiere a un dato a tener en cuenta a la hora de valorar un posible problema ortopédico del pie, es saber si la aparente deformidad que presenta, es reductible o no, es decir, si se corrige con tratamiento o no; si no se corrige, se intuye la existencia de un problema ortopédico más o menos serio; pero si se corrige, el problema es puramente postural, y por tanto, fácil de controlar. En la fig. 17 se muestran los grados de reductibilidad de menor a mayor patología, siendo el pie zambo el que cuenta con el menor ángulo y por lo tanto, la mayor dificultad para reducir la lesión y rehabilitar a través de plantillas o insertos en los zapatos. En estos casos, la cirugía representa la solución más viable.

Es muy importante explorar también otras articulaciones de los miembros inferiores, sobre todo las caderas, ya que, por ejemplo, un exceso de anteversión del cuello del fémur, situación muy frecuente en niños pequeños, entre los tres y diez años, puede condicionar una actitud en rotación interna de toda la pierna y un apoyo con los pies hacia "dentro", sin que exista problema alguno en los propios pies.

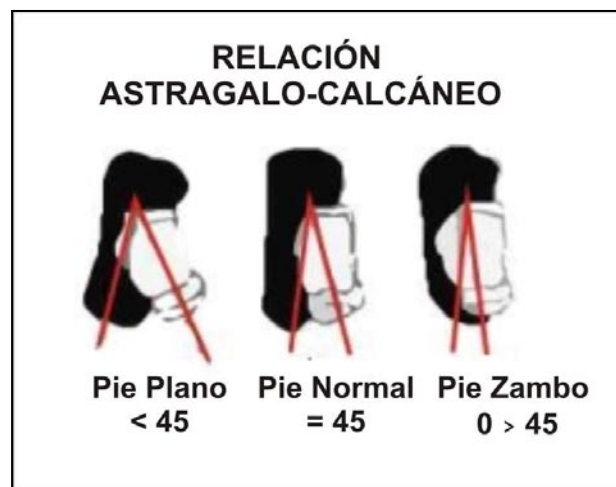


Fig. 15 Grado de reductibilidad a partir de relación astrágalo-calcáneo
Recuperado de <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001262.htm>

1.1.6 Equilibrio Muscular

La movilidad del tobillo y del retropié (compás astrágalo-calcáneo), está controlada por 4 grupos de músculos y tendones que se sitúan como los 4 puntos cardinales, como se ilustra en la fig. 18.

- Al **Sur**, es decir, detrás, el **Tendón de Aquiles**.
- Al **Norte**, es decir, delante, los **Extensores** del pie.
- Al **Oeste**, es decir, por dentro, el **Tibial anterior y posterior**.
- Al **Este**, es decir, por fuera, los **Peroneos**.

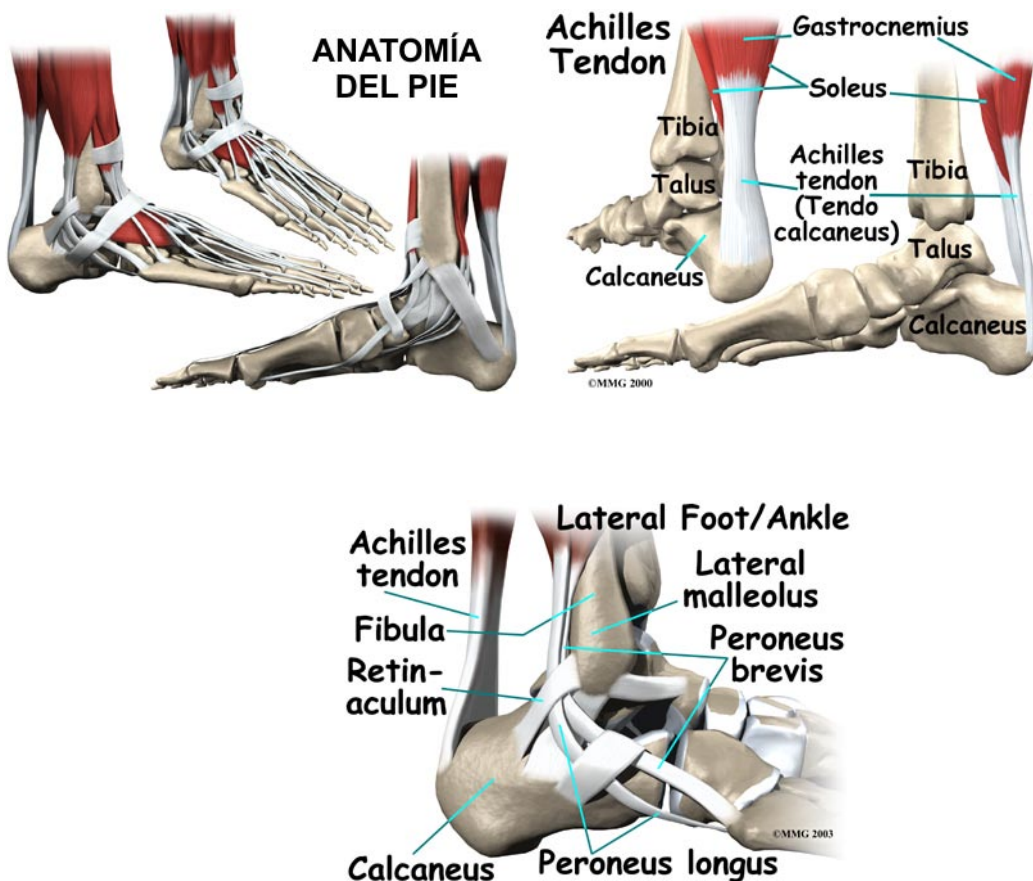


Fig. 16 Principales músculos y tendones de pie y tobillo
Recuperada de <http://www.imaios.com/es/>

Estos grupos musculares mantienen un equilibrio perfecto en la movilidad del tobillo y del retropié, que debe ser explorada para detectar posibles alteraciones que repercutan negativamente en el propio pie; por ejemplo, una falta de tono muscular en el Músculo Tibial posterior, que es el encargado de mantener el arco interno del pie, provocaría un aplanamiento de dicho arco, y por tanto, un pie plano; lo mismo que una falta de tono del Músculo Peroneo lateral largo, que es el encargado de "tensar" dicha bóveda plantar. Asimismo, existen una serie de articulaciones desde el tobillo hasta los dedos, cada una con una función y movilidad específica, pero que en conjunto funcionan como una cadena poliarticulada que dan al pie una gran amplitud de movimientos en los tres planos del espacio.

1.1.7 Evolución del pie con el crecimiento

A lo largo del crecimiento, el pie va pasando por una serie de etapas de desarrollo, que es necesario conocer para distinguir en cada momento lo que es normal y lo que es patológico.

- **Edad de 1 año:** el pie es un miembro fundamentalmente cartilaginoso, vulnerable a cualquier agresión externa, por eso, cuando el niño comienza a dar los primeros pasos, es muy importante evitar el sobrepeso, y ayudar a su pie con un calzado correcto, que controle la posición del talón (contrafuerte fuerte), y que no oprima en exceso sus dedos (suela flexible).
- **Edad de 1 a 3 años:** el niño se encuentra en un período de búsqueda de la verticalidad en el que casi todo es posible en cuanto a la forma de apoyar se refiere, por lo que no hay que apresurarse a tomar como patológico, lo que no es más que una transición hacia la "normalidad," unos niños se caen con frecuencia, otros apoyan con el pie hacia dentro; otros lo hacen con el pie hacia fuera, etcétera; además, en esta edad hay una transición fisiológica del Genu Varo ("piernas en paréntesis"), hacia el Genu Valgo ("Piernas en Equis"), y a la inversa, hasta que la musculatura de las piernas se fortalece, lo que también tiene repercusión en la forma de apoyar los pies. Así mismo, existe un aumento de la grasa plantar a nivel de la bóveda o arco interno, que puede dar la apariencia de

un falso pie plano; por todo esto, es muy difícil que a estas edades se pueda hablar con propiedad de Pie plano o de Genu Valgo, lo cual suelen ser falsos problemas, a menudo agravados por la inquietud materna y mantenidos por algún médico más o menos desinformado.

- **Edades posteriores**, existen unos cambios fisiológicos en la rotación de los miembros inferiores, debidos a la disminución progresiva de la rotación del cuello femoral y la rotación externa que se va produciendo en la tibia, lo cual también influye en la forma de apoyar los pies en el suelo. El ángulo de inclinación del cuello del astrágalo va disminuyendo, y esto hace que se vaya corrigiendo la tendencia al aducto del antepié y al pie plano valgo, característica de los pies en los primeros años de vida (entre el 1º y el 5º año),²² después del 5º año de edad, se puede empezar a diagnosticar una patología de pie real²³

Un diagnóstico certero en combinación con un adecuado tratamiento de plantillas y el fortalecimiento de los músculos mediante la realización de ejercicio, permitirá la pronta recuperación y el buen desarrollo psicomotriz asegurando a mediano plazo, la salud en el paciente.

1.2 Sistema

Un sistema es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben (entrada) datos, energía o materia del ambiente y proveen (salida) información, energía o materia.²⁴

1.3 Diagnóstico

En la medicina es el acto de conocer la naturaleza de una enfermedad a través de la observación de signos y síntomas; también es el nombre que recibe la calificación que da el médico a la enfermedad según los signos que advierte.²⁵

²² **Hernández Corvo, R.**, *Morfología funcional deportiva: sistema locomotor*. Vol. 005858Q. 1989, P. 65 Barcelona: Paidotribo.

²³ *Ibid.* p. 129

²⁴ Recuperado el 29 de junio de 2010, 20:40 hrs, de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema.php>

1.4 Niños con patología de pie en México

De acuerdo con la información proporcionada por la *Clínica de Medicina del Deporte de la UNAM* y el Dr. Miguel Aguilar Casas²⁶:

“En México, 8 de cada 10 niños tienen problemas de pie desde su primer año de vida.”

Estas problemáticas pueden derivar en pie plano, varo, valgo o cavo, como se explica a detalle posteriormente, pero en un inicio, toda malformación de pie, ha sido por lo general erróneamente catalogado como pie plano.

Existen también datos proporcionados por el INEGI y por el Dr. Ricardo Hugo Hernández Guerra, quien realizó un estudio durante el año de 2006, llamado “Prevalencia del pie plano en niños y niñas en las edades de 9 a 12 años.”²⁷

Anexo a continuación los resultados de tal estudio. Las variables fueron:

- Edad cronológica: La edad con la que contaba el o la niña el día de los registros de los datos.
- Grado escolar: El grado en que se encontraba durante la investigación.
- Sexo: Sexo del alumno o alumna
- Derecho: Tipo de pie
- Izquierdo: Tipo de pie

Las siguientes tablas tomadas del estudio de Hernández Guerra (2006), muestran la incidencia de pie normal y pie cavo en base al género de los niños, su edad y su grado escolar, diferenciando el pie derecho del pie izquierdo.

²⁵ Recuperado el 29 de junio de 2010, 21:10 hrs, de <http://definicion.de/diagnostico/>

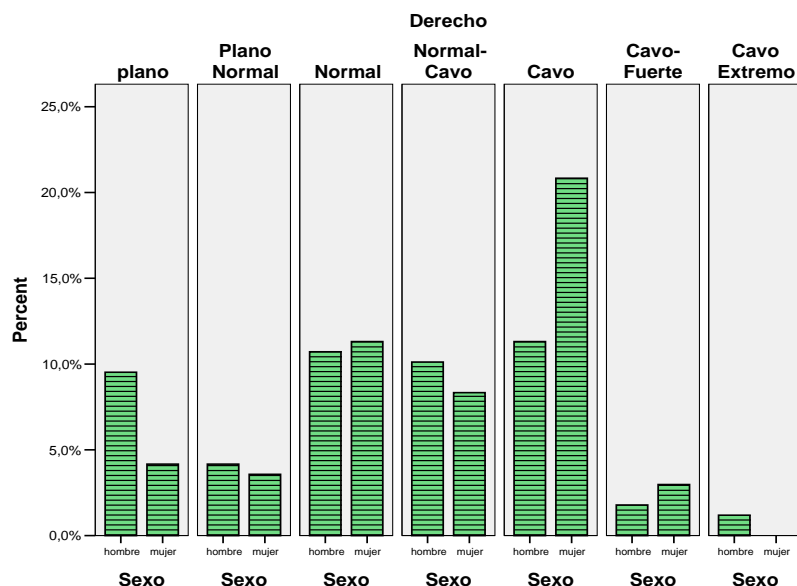
²⁶ El Dr. Miguel Aguilar Casas, es el director de la Clínica de Medicina del Deporte de UNAM y ex Presidente de la Sociedad Mexicana de Ortopedia en la Cd. De México; actualmente cuenta con un laboratorio de Biomecánica dentro del Estadio Deportivo de CU. Es reconocido y respetado en la sociedad de ortopedistas por su brillante desempeño profesional e investigación en el campo.

²⁷ **R.H. HERNANDEZ GUERRA.** Prevalencia del pie plano en niños y niñas en edades de 9 a 12 años. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. No. 23. 2006.

Recuperado el 30 de marzo a las 20.30 hrs. desde <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista23/artpieplano.pdf>

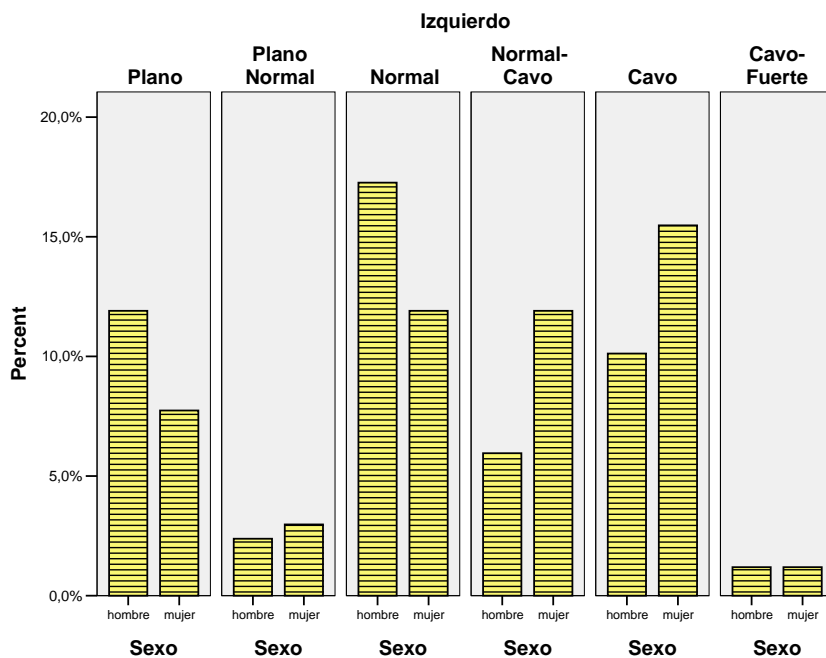
Los resultados de la investigación, al contrario de lo que se pensaba al inicio de esta, mostraron un menor porcentaje total de pie plano en general, siendo relevante la cantidad de pies cavos en las niñas, teniendo un total del 20.83% de los pies derechos, como indica la Tabla 1.

TABLA1 Distribución de patologías de pie en niños y niñas según género en pie derecho



El 17.23% de pies derechos de los hombres, es el mayor porcentaje en general encontrado de pie normal, como indica la Tabla 2.

TABLA 2.Distribución de patologías de pie en niños y niñas según género en pie izquierdo



Hay una aproximación de los resultados en todos los grados en ambos pies de las mujeres en lo que respecta al pie cavo, indicado en las tablas 5 y 6; el mayor índice de pie cavo en las mujeres se da en la edad de 9 años, con un 7.14% del pie derecho y en las de 11 años con 5.95% en el pie derecho, indicado en Tablas 3 y 4.

TABLA 3 Distribución de patologías según género y edad en pie izquierdo

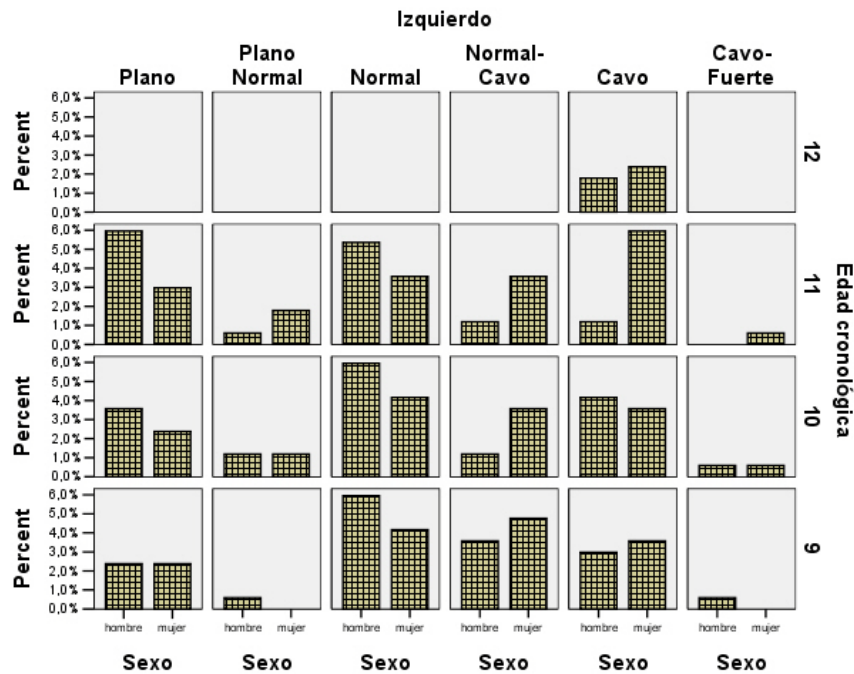
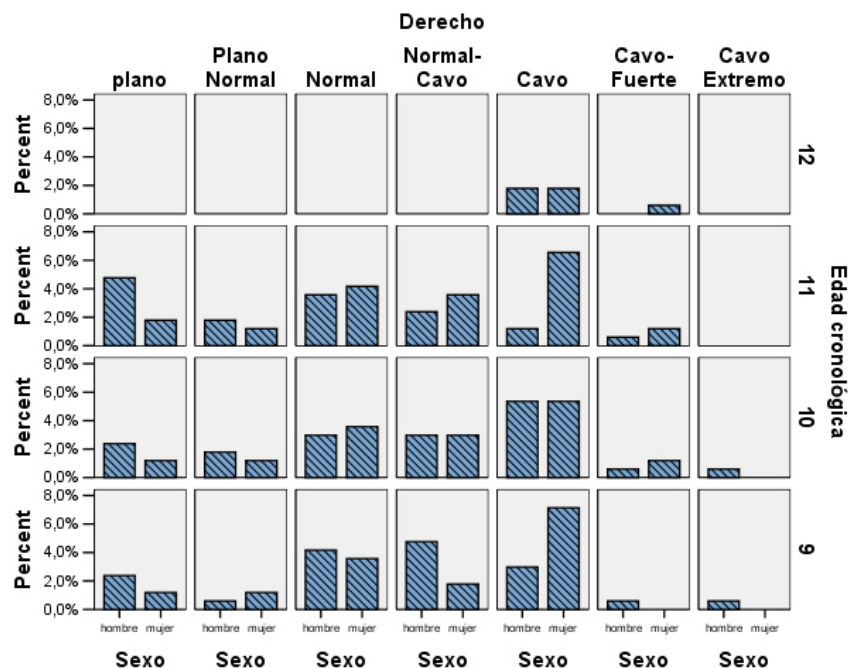
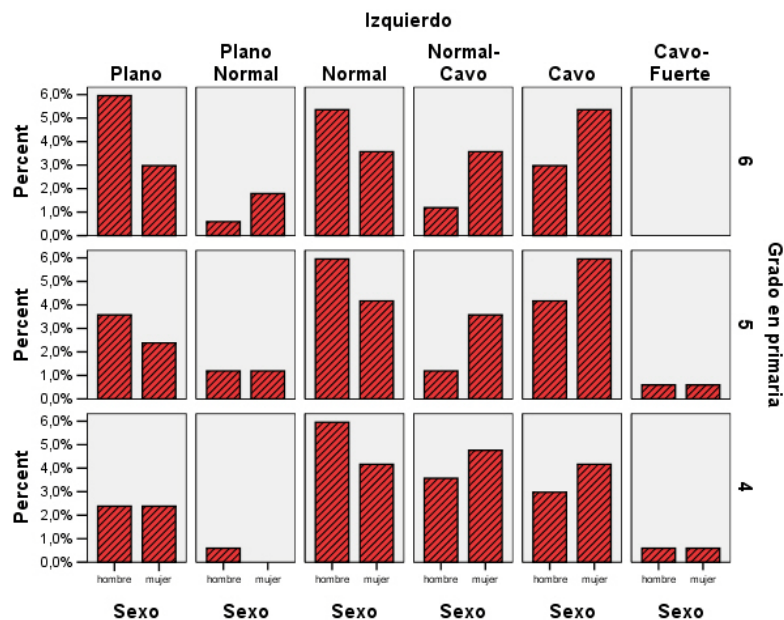


TABLA 4 Distribución de patologías según género y edad en pie derecho



La mayor cantidad de pie plano lo obtuvieron los varones de 6º grado con un 5.95% en el pie izquierdo y un 4.76% en el pie derecho como nos indica la Tabla 5 y 6. Los porcentajes de los hombres son parecidos en lo que respecta al pie normal izquierdo, como nos muestra la Tabla 5 en todos los grados, no tanto así en el pie derecho, donde los porcentajes bajan; se observa también mayor pie plano en niños y mayor pie cavo en niñas, en pie izquierdo.

TABLA 5 Persistencia de patologías según genero y edad. Pie izquierdo



El mayor porcentaje de pie normal lo dan los hombres de 11 años con un 4.76% en el pie derecho y 5.95% en el pie izquierdo.

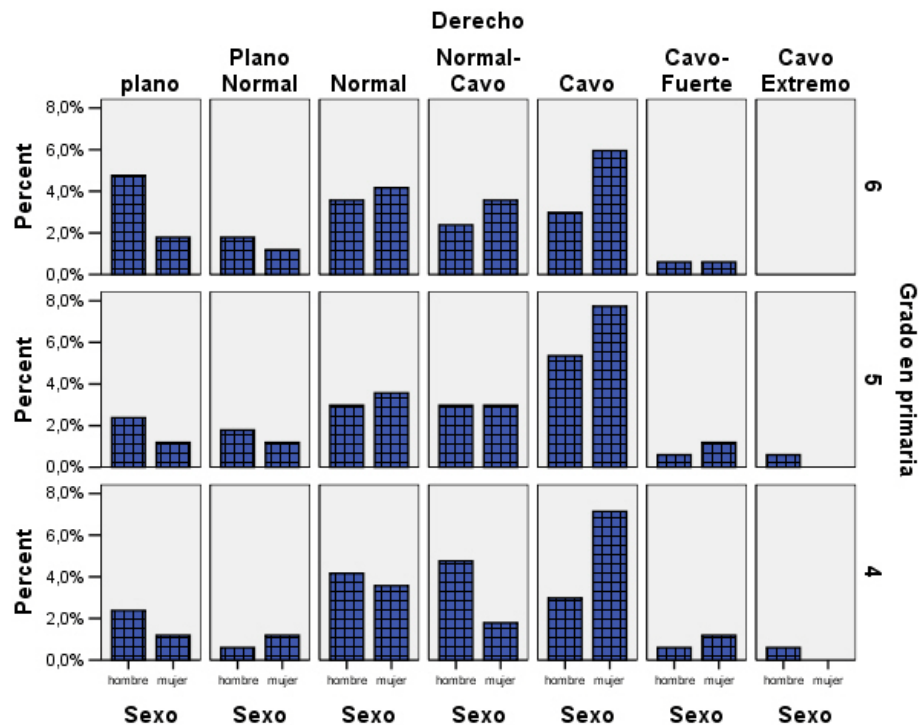
Este es un dato relevante en el estudio de Guerra (2006), dado que el pie plano tuvo mayor persistencia en niños mayores que en los menores. Invita en su estudio al cuidado de los pies y más cuando se trata de niños en actividad física.

El mayor porcentaje de pie normal es bueno a comparación de las expectativas del comienzo de la investigación, en cambio el porcentaje elevado de los pies cavos, indica un tipo de problema diferente, ya que también se considera como deformidad, y propone que una vez contando con los resultados, se avisará a los padres de cada

niño o niña con este problema para que recurra a un especialista para su tratamiento si así lo requiere.²⁸

Puede observarse en la tabla 6 una mayor persistencia de pie plano en niños y mayor pie cavo en niñas, en pie derecho.

TABLA 6 Persistencia de patologías según genero y edad. Pie derecho



A diferencia de lo esperado, el mayor índice de pie plano fue en los niños mayores y no en los menores.

A manera de epílogo sobre estas problemáticas de pies en niños mexicanos, de acuerdo con el estudio de Guerra (2006), el bajo porcentaje de pie plano en general en ambos sexos y con un ligero problema de pie cavo en las mujeres, anima a que las clases de Educación Física en las escuelas primarias, se impartan sin que quede

²⁸ **HERNANDEZ CORVO, R.**, *Morfología funcional deportiva: sistema locomotor*. Vol. 005858Q. 1989, Barcelona: Paidotribo.

la preocupación de que los alumnos pudieran sufrir algún tipo de inconveniente en los pies para poder atender las demás clases sin ninguna dificultad.²⁹

Es evidente que los niños mexicanos presentan hoy en día diversas patologías en sus pies. Tal vez el pie plano no sea tan incidente, como originalmente se pensaba sin embargo varios niños y niñas pudieran estar siendo tratados equívocamente como sujetos con pie plano, cuando la patología que padecen tal vez pudiera ser otra, o la mezcla de varias de ellas.

²⁹ **HERNANDEZ GUERRA, R.H.** (2006) Prevalencia del pie plano en niños y niñas en las edades de 9 a 12 años. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (23) <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista23/artpieplano.htm>

1.5 Definiendo las principales patologías de pie

1.5.1 Pie plano³⁰

Es el pie que presenta un hundimiento de la bóveda o arco plantar en carga; es a menudo una afección compleja, con síntomas diversos y grados variables de deformidad e incapacidad. Hay varios tipos de pie plano con una característica en común: la caída (pérdida) parcial o total del arco; puede presentarse en un solo pie, pero en la mayoría de los casos, se presenta en ambos. Es importante mencionar que hoy en día se prescriben plantillas reflejadas para ambos pies, es decir, mismas características, alturas, espesores y durezas para ambos pies, lo cual sabemos es prácticamente imposible debido a que cada extremidad presenta aunque sean leves diferencias morfológicas.

La mayoría de los niños que tienen el pie plano no presentan síntomas claros a simple vista, pero algunos de ellos sufren molestias a las que en ocasiones se acostumbran, repercutiendo esto en posibles daños mayores irreversibles. Cuando los síntomas se presentan, varían de acuerdo con el tipo de pie plano. (Generalmente confundido con pie valgo.)

La mayoría de los pies planos ocurren por causa de conexiones articulares flojas y grasa de bebé entre los huesos de los pies. Estas condiciones hacen que el arco se aplane cuando el niño se pone de pie; este es el motivo por el cual a veces se les llama a los pies planos "arcos caídos", puede parecer que el pie tiene arcos cuando su niño está sentado o cuando dobla el dedo gordo hacia atrás, pero el arco se aplanea cuando el niño pone peso sobre el pie.

³⁰ <http://www.footphysicians.com/espanol/pie-plano-pedi%C3%A1trico.htm>

Pie plano aparente: En la Figura 17, se aprecia a simple vista un pie plano, sin embargo no es real, tan solo es un pie con demasiada grasa plantar; infante de tres años de edad, siendo muy joven aun para diagnóstico correcto.

Las consecuencias del pie plano pueden ser: dedos en gatillo (causa de callosidades en dedos), juanete, espolón calcáneo, desviaciones que suben a tobillo, rodilla, cadera y posible escoliosis. (Ver Figura 18.)



Fig. 17 Pie plano aparente de niño de tres años.
Recuperada desde www.biolaster.com/traumatologia



Fig. 18 Arco caído con sus consecuencias
Recuperada de <http://www.imaio.com/es/>

Un niño con pie plano real, debe ser diagnosticado después de los cinco años de edad. Los niños que lo presentan se quejan de dolor en el pie, tobillo, talón o en el arco cuando caminan o corren. Muy rara vez, los pies planos pueden ser causados por huesos unidos; en este caso, los huesos no pueden moverse y el pie duele en demasía, lo cual no está considerado como un pie plano común.

Normalmente, según B. Miralles, el peso del cuerpo no tiende a aplanar el arco longitudinal,³¹ se necesitan causas como la laxitud articular, la debilidad muscular, la sobrecarga (sobrepeso) o la alteración estructural del esqueleto para producirlo. El arco longitudinal interno se sostiene principalmente por la acción del músculo tibial posterior y secundariamente por las acciones de los músculos tibial anterior y peroneo lateral largo. Henprix, citado por Vázquez, dice: “El pie plano puede ser considerado como un órgano cuyo resorte está distendido, mientras que en el pie cavo está con demasiada tensión.”³² (Ver Figura 19)



Fig. 19 Arco caído real

Recuperada de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0370-41062006000400003&script=sci_arttext

³¹ **B. MIRALLES.** Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor. Instituto Biomecánico de Valencia. Elsevier-Masson. 2001

³² **VAZQUEZ VELA, GONZALO.** *Deformidades del pie. Tratamiento Conservador.* Editorial Limusa. México. 1987

1.5.2 Pie varo³³

El pie se apoya sobre su parte externa, dejando el tobillo hacia afuera y el talón hacia adentro. Se aprecia a simple vista. El niño presenta generalmente Genus Varo, o separación de rodillas es decir, una deformidad en la que el pie está desviado en supinación. (Ver Figura 20).



Fig. 20 Pie varo en adulto

Recuperada desde <http://html.rincondelvago.com/0006833511.png>

1.5.3 Pie valgo³⁴

Pie en el que el talón mira hacia dentro y se apoya en la parte interna del pie. Casi siempre va unido al pie plano. El niño pisa con la parte interna del pie, desviando el talón hacia afuera y el tobillo hacia adentro. También gasta el zapato en el borde interno. Por lo general, un niño con pie valgo va a presentar además el Genus Valgo o choque de las rodillas, las cuales se juntan formando una “X”, provocando grandes molestias y caídas frecuentes. (Ver Figura 20.)

Es la deformidad en la que el pie está desviado en pronación. En este tipo de patología los músculos del pie y los ligamentos de la cara interna e inferior tienen la

³³ <http://www.footphysicians.com/espanol/pie>

³⁴ <http://www.footphysicians.com/espanol/pie>

fuerza necesaria para oponerse a la acción de la gravedad, la que tiende a producir rotación externa de los pies, debido a que la línea de la fuerza cae en medio de ellos. Cuando hay debilidad de los músculos inversores se produce aplanamiento del arco longitudinal y valgo de los talones.

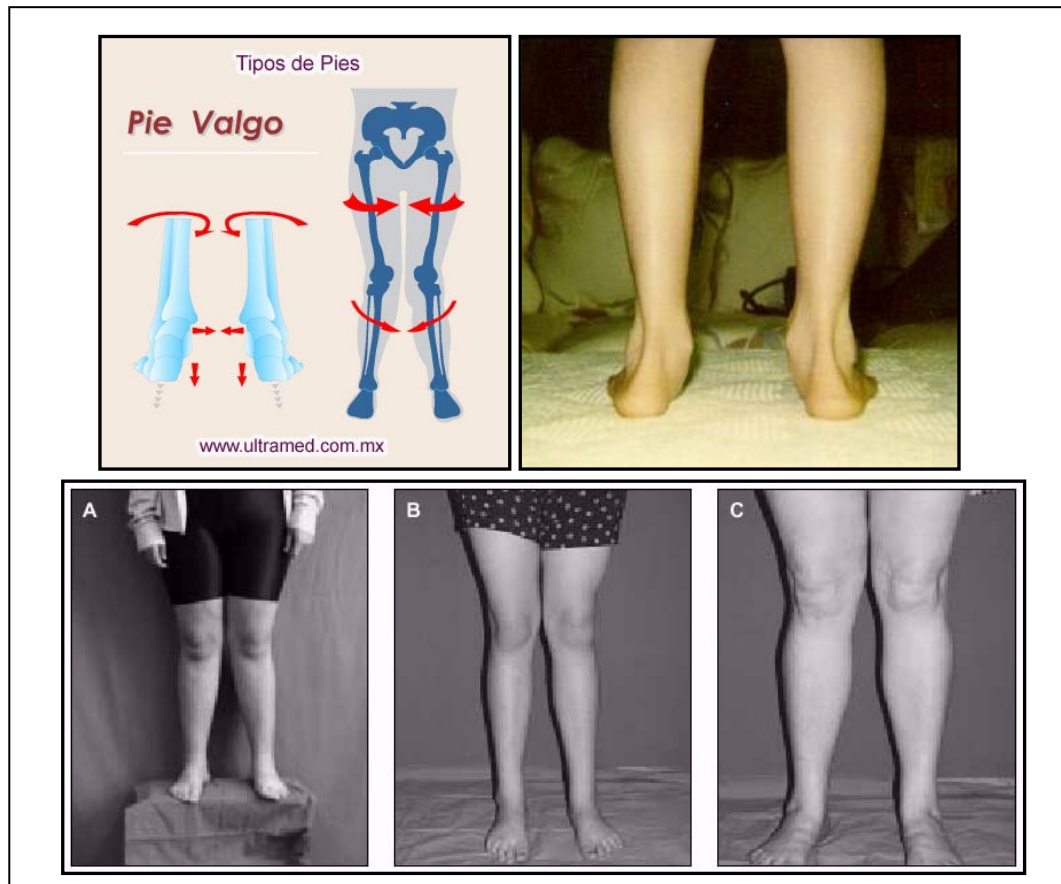


Fig. 20 PIE VALGO que degenera en rodillas en "X"

Recuperada desde <http://www.ultramed.com.mx/posturas.htm>

1.5.4 Pie cavo³⁵

El pie cavo tiene un arco muy alto y pronunciado. Cuando un sujeto se pone de pié, debido a este arco alto, se deposita una excesiva cantidad de peso en la parte delantera de la planta del pie y en el talón. El pie cavo puede conducir a una diversidad de signos y síntomas, tales como dolor e inestabilidad. Éste puede desarrollarse a cualquier edad y puede ocurrir en uno o ambos pies.

Esta patología presenta algunos de los siguientes síntomas: dedos en martillo (dedos del pie flexionados) o dedos del pie en garra (dedos del pie apretados como un puño), callosidades en la parte delantera de la planta, parte lateral o talón del pie; dolor cuando uno se pone de pie o camina; pie inestable debido a una inclinación del talón hacia adentro, lo cual puede conducir a torceduras del tobillo.

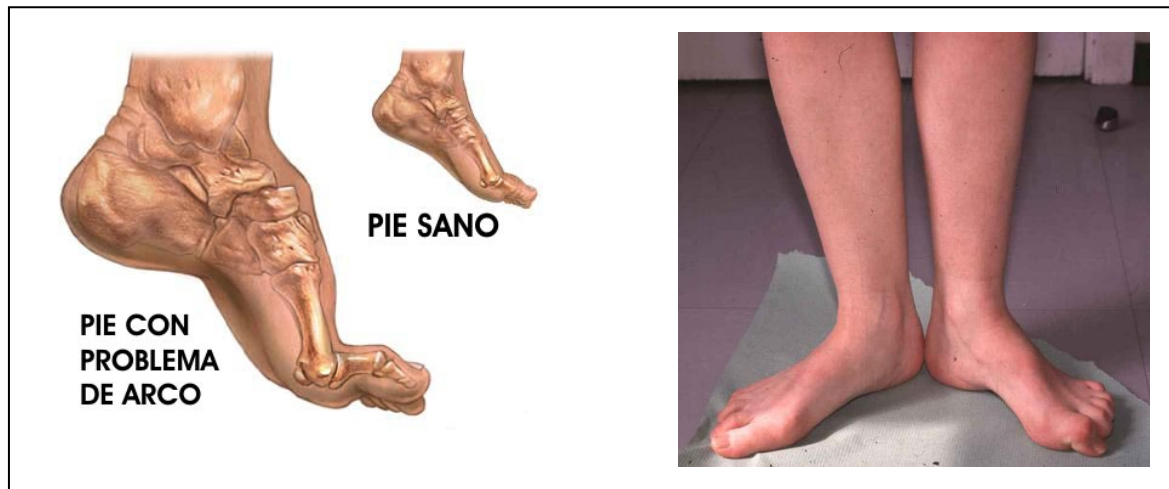


Fig. 21 Imágenes de pie cavo

Recuperadas de

http://1.bp.blogspot.com/_G1sTR977FZ0/Scazso1WDFI/AAAAAAAC_s/OTO9LU5YClc/s1600-h/pie_cavo.jpg

³⁵http://www.pediatraldia.cl/pie_cavo.htm

1.6 Semejanzas y diferencias entre patologías.

Previamente se mencionó sobre la existencia de dos arcos en el pie humano: el arco longitudinal y el arco transversal. De las cuatro patologías que estamos abordando, existen dos de ellas que actúan directamente sobre el arco transversal y las otras dos, sobre el longitudinal.

- **Pie varo y pie valgo**

Su característica principal es el desplazamiento que presentan hacia ambos lados del arco longitudinal (derecha o izquierda del pie); el Valgo se desplaza hacia el extremo interior y el Valgo hacia el exterior, donde dicho desplazamiento, ya sea contabilizado en grados o en milímetros de distancia a partir de un eje central (pie sano), será en este caso, el factor a resolver.

- **Pie plano y pie cavo**

Su característica principal es el desplazamiento que presentan respecto a la vertical del pie, actuando directamente sobre el arco transversal (arriba o abajo). En la fig. 22 se observa el arco en sus tres facetas principales de desplazamiento.

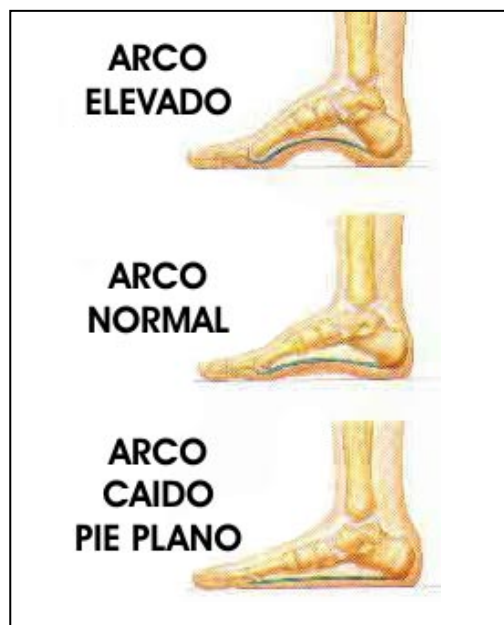


Fig. 22 Desviaciones en la altura del arco plantar
Recuperada de <http://artros2.com/pagina%20web/desviacion20%arco.htm>

1.7 Etiología de deformidades en pie plano, varo, valgo y cavo

Existen varias corrientes de pensamiento con relación a las causas de las patologías del pie plano, varo y valgo. Lovell ³⁶ considera que dichos problemas se relacionan en su mayoría con un soporte débil en la porción anterior del hueso calcáneo y se asocia secundariamente con un tendón de Aquiles corto.

En un pie normal, en posición erecta y en reposo, la actividad muscular es escasa o nula, por lo que se sabe que la función del pie y la forma que adapte bajo la carga del peso corporal, dependen principalmente de la conformación de los huesos tarsianos y de la posición que guardan entre ellos. Se concluye así que el “equilibrio” en las estructuras del pie, no se refieren en lo absoluto a la actividad muscular, sino a la ordenación de los huesos y ligamentos que dan una base estable sobre la que puede ser soportado el peso con el menor esfuerzo muscular.

En 1963, tras estudiar simultáneamente los músculos relacionados en el pie (tibial anterior, tibial posterior, peroneo, lateral largo, flexor largo del dedo gordo y flexor corto), Lovel llega a la conclusión de que solo el soporte de cargas muy pesadas, inicia la actividad muscular, en una posición erecta relajada, el arco longitudinal es sostenido solo por hueso y ligamento. Con cargas de 180 Kg., o más, los músculos entran en juego, pero incluso en esta situación constituyen una reserva dinámica del cuerpo; la postura del pie no depende de los músculos, ya que estos solamente participan en el equilibrio y protección de los ligamentos ante fuerzas anormales.

³⁶ LOVELL, WOOD W. WINTER ROBERT B. **ORTOPEDIA PEDIÁTRICA.** . 2ª. Edición. Buenos Aires. 1988.

1.8 Diagnóstico del pie enfermo actualmente

Se inicia el tratamiento con un análisis clínico que incluye:

- 1.- **Anamnesis:** Toma de datos generales del paciente (antecedentes personales, antecedentes perinatales, natales y familiares.)
- 2.- **Exploración física u ortopédica:** Inspección, palpación, percusión, estudio del calzado.
- 3.- **Estudios de gabinete:** Radiografías comprobatorias de los datos clínicos.

1.8.1 Exploración física

- A) En marcha:** Se observan la posición de los pies y el ángulo aproximado que presenta en cada caso; observación de toda la extremidad inferior, especialmente en las rotulas que determinan la rotación de la cadera.
- B) En reposo con el pie colgando:** Se toca el pie y se valora su flexibilidad, altura y apariencia del arco plantar, detectando si existe dolor.
- C) En bipedestación:** Soportando el peso del cuerpo se valora la reductibilidad del arco y la importancia del valgo del talón; es muy recomendable examinar pies y piernas desde la cara posterior y se observa el alineamiento de los talones. (Ver figura 23).

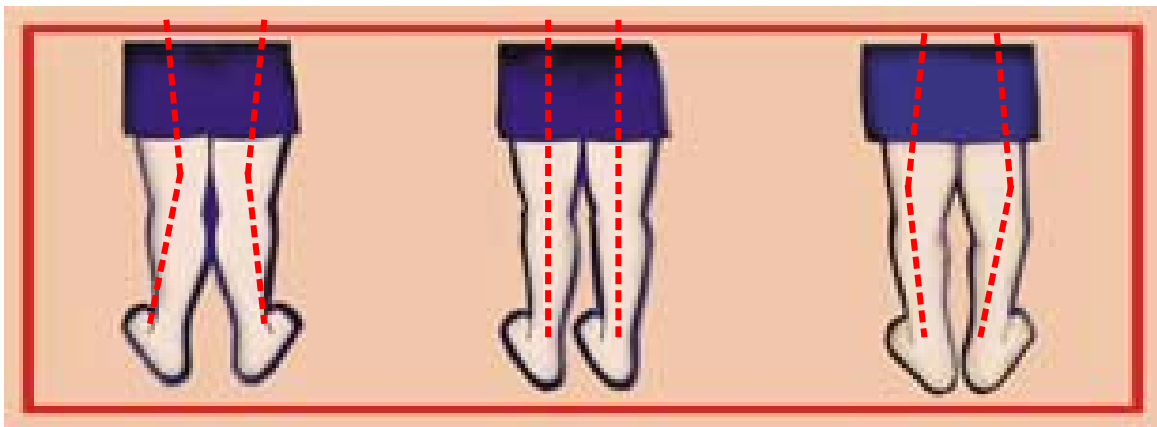


Fig. 23 Vista posterior de pie, tobillo y rodilla

Recuperada de <http://artros2.com/pagina%20web/desviacion20%tobillo.htm>

Se recomienda siempre una observación posterior, dado que es en dicha posición cuando se aprecia la desviación que se origina en el hueso calcáneo y sube por el astrágalo hacia el tobillo y en casos a la rodilla y cadera.³⁷(Ver Figura 24.)

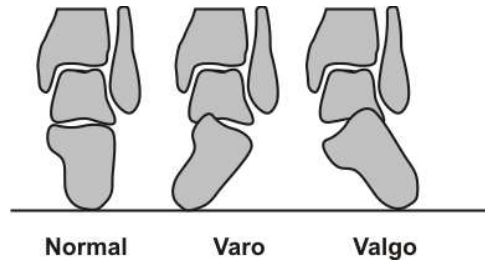


Fig. 24 Desviación astragalocalcánea en pie normal, varo y valgo
Recuperada de <http://www.biolaster.com/.../VARO-VALGO.jpg>

El tendón de Aquiles normalmente está colocado en una línea vertical con la inserción en la tuberosidad mayor del calcáneo y en ocasiones se utiliza el goniómetro,³⁸ para medir ángulos.



Fig. 25 Goniómetro usado en Ortopedia, para medir ángulos y flexibilidad.
Recuperada de www.ortopedicchile.cl/.../goniometro%202515.JPG

D) Exploración del calzado y su desgaste: donde se observan las suelas de los zapatos infantiles y se detectan zonas de carga desviadas.

E) Podoscopio: La exploración física se complementa con la visión de la huella plantar en un instrumento llamado podoscopio, donde se mide y visualiza la

³⁷ Recuperado el día 22 de abril de 2008 desde http://www.podoortosis.com/a_introduccion/f01.htm

³⁸ Un **goniómetro** es un instrumento de medición con forma de semicírculo o círculo graduado en 180° o 360°, utilizado para medir o construir ángulos. <http://es.wikipedia.org/wiki/Goniómetro>

impresión de la planta; cuenta con variantes niveles de tecnología, básicamente un podoscopio es una caja estructurada, con vidrios, espejos e iluminación adecuada, para estudiar claramente los arcos plantares en carga. (Ver Figura 26.)



Fig. 26 Podoscopio

Recuperada de www.sicilmedical.it/.../27353podoscopio.jpg

La plantigrafía es la impronta del pie previamente entintado y permite ubicar zonas de apoyo excesivo (callosidades) y también diseñar plantillas u otros dispositivos de descarga.



Fig. 27 Plantigrafías

Recuperada de <http://fabricadaspalmilhas.webnode.com/saiba-mais/palmilha%20-%20n%C3%A3o%20e%20plantigrafia%20nem%20molde%20de%20gesso,%20tambem%20n%C3%A3o%20e%20palmilha%20ortopedica/>

Tanto en el podoscopio, como en la plantigrafía sólo exploran la planta del pie en reposo, pudiendo dar como consecuencia una huella de falso pie plano sobre todo si existe un grueso cojín adiposo; por ello no es adecuado para infantes, pues estos poseen una gruesa capa de grasa plantar que puede dar la falsa idea de pie plano. Por el contrario, los adultos mayores que han reducido en gran medida su grasa plantar, presentando pies muy delgados, con fina piel que denotan huesos prominentes en algunas ocasiones; es de mucha utilidad por ser sumamente

práctico, rápido y económico. Arroja una gran cantidad de información en poco tiempo. Se categoriza en 4 etapas según la gravedad de patología (Ver Figura 28.)

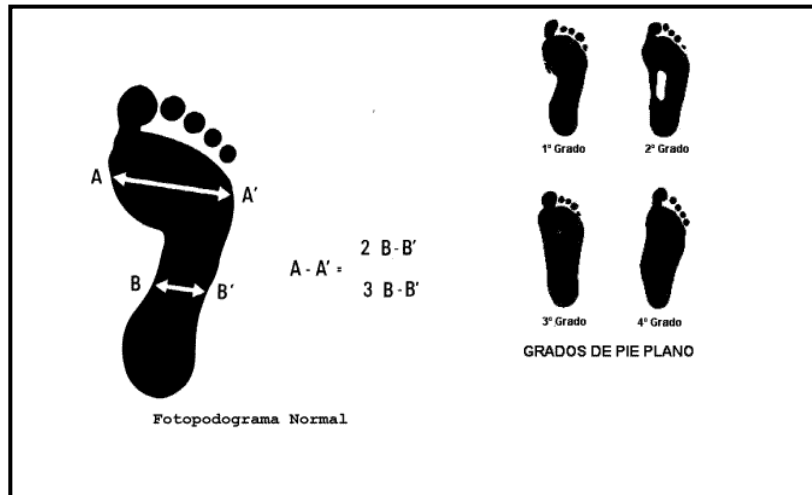


Fig. 28 Grados de pie plano según plantigrafía

Recuperada de <http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=99629>

1.8.2 Exploración radiológica

El uso de estudios radiográficos se debe reservar como último recurso del especialista y sólo para aquellos pies que por su gravedad o por la falta de respuesta al tratamiento se mantienen planos; para lograr un diagnóstico preciso se realizan dos proyecciones obligatorias: anteroposterior y lateral (o perfil).

- a) **Proyección lateral:** Una línea imaginaria pasa por la mitad del astrágalo siguiendo su eje mayor, corta el cuboides por su tercio superior y forma con el plano del suelo un ángulo que oscila entre los 18 y 25 grados. Otro eje que pasa por el borde inferior del calcáneo, forma con el plano horizontal un ángulo entre los 10 y 20 grados. (Ver Figura 29.)



Fig. 29 Vista lateral Rayos X

Recuperada de <http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=99629>

b) Proyección anteroposterior:

El eje mayor del astrágalo forma con el calcáneo un ángulo abierto delante de 20 a 25 grados.

1.9 Tratamiento Conservador de Patologías de pie

El tratamiento conservador en las deformidades de pie, depende del grado de seriedad en la patología del pie infantil y consiste en varios elementos principales: enyesados, ortesis correctivas y de sostén, zapatos ortopédicos, plantillas o soportes plantares, infiltraciones medicamentosas, vendajes, terapia física, entre otras u es evidente que el uso de cualquiera de las técnicas antes mencionadas dependerá del tipo y gravedad de la patología que se enfrente.

a) Enyesados

Son tratamientos para deformaciones drásticas pero que existe aún la posibilidad de evitar la cirugía, un ejemplo seria un pie valgo rígido permanente; previo a la aplicación del yeso correctivo es necesario administrar anestesia general, se manipula el pie en todos los sentidos, se extiende el yeso de muslo a pie y se mantiene ahí por cuatro semanas; es un tratamiento agresivo del cual no nos ocuparemos, por estar tratando de deformaciones no severas en pie infantil.

b) Ortesis correctivas y de sostén

El término de ortesis (del griego, Orthos, recto) se emplea para designar a las ayudas mecánicas, aparatos ortopédicos o férulas que tienen los objetivos de prevenir o corregir una deformidad, mantener o ampliar los arcos de movimiento, mejorar la función y aliviar el dolor.

Anteriormente las ortesis eran fabricadas en duraluminio, maderas o cuero rígido, hoy en día se fabrican en materiales plásticos denominados en forma técnica como polímeros; sus ventajas son: en su mayoría son ligeros, facilidad de trabajarse,

siendo la propiedad que mayor importancia tiene; la posibilidad de procesarse en formas geométricas específicas sin perder sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. En general los polímeros están compuestos por: carbón, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Los grupos principales son:

- Termoestables o termofijos: Son aquellos que por medio del calor adquieren una forma y al enfriarse, se endurecen. Si se les aplica de nuevo calor, no se reblandecen. Ver ortesis de acrílico Figura 30.
- Termoplásticos: Del mismo modo adquieren forma al aplicárseles calor, luego endurecen, pero con una nueva aplicación de calor, son moldeables.

Las ortesis actualmente son fabricadas casi siempre en polipropileno por su ligereza y facilidad de uso. Siempre es necesario previamente el tomar un molde en yeso, en el cual se hace la máxima corrección. Una vez obtenido el molde positivo se modifica para aumentar la corrección, se suaviza y se cubre con polipropileno.

El zapato esta considerado como parte integral de la ortesis.



Fig. 30 Ortesis rígida de tobillo

Recuperada de <http://www.ortopediadiirecta.com/img/p/253-218-large.jpg>

c) Zapatos ortopédicos

Dentro de las regiones patológicas susceptibles de ser corregidas por el zapato ortopédico, existen daños tan severos como el pie equino varo, acortamientos de pie y pierna, valgo y varo de tibia, torsión tibial, etcétera. El pie plano sólo en casos muy graves y en combinación con el pie valgo.

Cualquiera que sea la causa, el zapato ortopédico debe lograr retener el pie dentro del zapato y dar simetría a la postura y a la marcha; deben proporcionar estabilidad, corregir deformidades e influir sobre los arcos del pie; sin embargo, en la mayoría de los casos el pie plano puede ser tratado sólo con plantillas especiales, salvo en casos muy severos de extrema flexibilidad en los arcos plantares, conocido como “pie plano flexible”.

El zapato a usar por el niño debe tener los siguientes requerimientos:

1. La horma con que se fabrica debe ser recta, amplia, al nivel de los metatarsianos, con una cavidad en el arco longitudinal para que la suela le proporcione el soporte adecuado.
2. Suela fuerte y firme para proteger al pie, pero flexible en la punta.
3. Contrahorte estrecho y fuerte para soportar firmemente el calcáneo en buena posición.
4. Enfranque rígido.

d) Plantillas o Soportes Plantares

Las plantillas deben cumplir una serie de requerimientos para considerarse adecuadas:

- Deben corregir el valgo del talón y la supinación del antepié.
- Se confeccionarán exprofeso para cada pie.
- Deben ser rígidas o semi-rígidas y con el punto más alto en la articulación astrágalo-escafoidea.

- Estar libres dentro del zapato y terminar a nivel retrocapital, es decir, a la altura de las almohadillas plantares anteriores.
- Deben colocarse dentro de un calzado con contrafuerte rígido, no tiene sentido llevar plantillas con zapatos tenis suaves, como los fabricados en tela o lona.³⁹

Según su naturaleza y el tiempo que serán utilizadas las plantillas se dividen en tres grupos:

- **Profilácticos:** En caso de una fractura, cirugía o durante el embarazo.
- **Correctivos:** Durante la etapa de crecimiento del pie y para restablecer las relaciones óseo-articulares.
- **De sostén:** Como medidas temporales para quitar áreas de presión o para aliviar el dolor y la fatiga.

Es necesario señalar que los soportes comerciales generalmente no son eficientes. La prescripción debe ser siempre individual y señalar la distancia talón-tubérculo escafoides y la altura.

Como norma general en la relación talón-tubérculo escafoides y la altura del soporte plantar, es del siguiente modo:

- A una distancia de 50 mm. corresponde una altura de 15 mm.
- A una distancia de 60 mm, corresponde una altura de 16 mm.
- A una distancia de 70 mm, corresponde una altura de 17 mm. y sucesivamente.
- Siendo la máxima altura recomendada de 20 mm.

³⁹ **WINTER, ROBERT B.** *Ortopedia Pediátrica*. Edit. Medica Panamericana. Buenos Aires. (1988).

Hay una gran variedad de plásticos usados en la fabricación de plantillas, siendo los principales los siguientes:

- **Polipropileno:** Produce poca reacción alérgica en la piel, resistente al impacto, resiste a la fatiga por lo que tiene larga duración, ligero, no absorbe fluidos o químicos del cuerpo, buena apariencia estética, puede usarse en zapatos convencionales, fácil limpieza, usado en plantillas rígidas. (Ver Figura 31.)



Fig. 31 Plantilla rígida

Recuperada desde <http://orthotechsmexicali.blogspot.com/2009/09/hablemos-de-plantillas-para-pie.html>

- **Polietileno:** Alta resistencia al impacto y a los químicos, muy útil para la fabricación de plantillas semirígidas; sustituyen a las que antes se fabricaban con corcho. Se dispone entre dos láminas, una inferior de cuerolite que sirve de base para la plantilla y otra superior de material de piel fina que evita el contacto de la piel con el corcho, aspecto que comportaría el deterioro rápido del mismo; son muy útiles para descargar las zonas correspondientes a las cabezas de los metatarsianos, mediante un relleno de los arcos interno y externo del pie y una pelota retrocapital, si bien su principal inconveniente radica en la falta de acojinamiento de estas zonas. (Ver Figura 32.)



Fig. 32 Plantilla semi-rígida

Fuente: <http://orthotechsmexicali.blogspot.com/2009/09/hablemos-de-plantillas-para-pie.html>

- **Plastazote, el Pelite o Silicones:** El primero es un polietileno espumado de celdas cerradas, el segundo es una arcilla termoestable constituida por partículas pequeñas de roca y cristales; por la temperatura a la que se trabajan pueden ser calentadas y moldeadas directamente al cuerpo y al enfriarse invierten sus características de espuma; a diferencia de las espumas normales, estos materiales tienen una gran variedad de dureza, de densidad y se usan como elementos de sostén. Recientemente se han encontrado muchas propiedades a estos plásticos, los que por su densidad pueden ir de una suavidad de acojinamiento a una rigidez estructural de sostén. Estos materiales, además de conseguir un buen acojinamiento de toda la planta del pie, permiten absorber la fuerza del impacto que se produce durante la marcha. El inconveniente es que pierden su eficacia a los pocos meses de su utilización siendo necesario renovarlas con frecuencia. (Ver Figura 33.)



Fig. 33 Plantillas blandas

Fuente: <http://orthotechsmexicali.blogspot.com/2009/09/hablemos-de-plantillas-para-pie.html>

Tratamiento general:

Una vez que se han realizado los estudios y se ha confirmado que el pie del niño, presenta alguna de las patologías ya mencionadas, se procederá al tratamiento. Cabe señalar algunas recomendaciones:

- Controlar el sobrepeso de los niños; mayor peso, menor altura de arco.⁴⁰
- Realizar ejercicio físico.
- Caminar por terrenos naturales como arena o césped.
- Uso de un calzado adecuado (no obligatoriamente ortopédico), que tenga un

contrafuerte rígido, que mantenga el talón bien sujeto, y una suela flexible que no comprima excesivamente el antepié. Existen investigaciones sobre “*calzado fisiológico*” y sus beneficios y requerimientos como dejar libres las articulaciones del tobillo y de los dedos (metatarsofalángicas), y debe mantener el talón vertical, evitando la desviación en valgo. (Ver Figura 34.)



Fig. 34 Calzado Fisiológico

Recuperado desde <http://img.vitonica.com/2007/11/mbt1.JPG>

⁴⁰ WINTER, ROBERT B. *Ortopedia Pediátrica*. Edit. Medica Panamericana. Buenos Aires. (1988).

1.10 Limitantes

Todos los estudios clínicos antes mencionados, han sido en teoría funcionales y aceptables a lo largo de muchos años, sin embargo, proporcionan datos precisos solo a través de una radiografía.

Exceptuando los estudios de gabinete, queda reducido a un estudio valorativo y a la apreciación del medico tratante. No se tienen datos precisos sobre desviación, pronación y altura máxima del arco plantar longitudinal.

Asimismo, todos estos son estudios estáticos y no nos proporcionan datos sobre presiones plantares, que serian sumamente útiles al analizar confort.

1.11 Diagnóstico ideal del pie infantil enfermo

El ideal a alcanzar es el de obtener datos precisos y altamente personalizados sobre la deformidad de cada pie analizado.

Datos dinámicos son de enorme utilidad, principalmente porque el pie humano no es una estructura estática; por el contrario, está formado por un alto número de huesecillos que lo hacen una herramienta fuerte, flexible y altamente dinámica. Sería muy recomendable hacer estudios del pie en movimiento, es decir biomecánicos, pues es ahí cuando se recopilan datos reales de carga, esfuerzo y flexibilidad.

El factor base debe ser la edad del niño, pues eso determinará el nivel de fortalecimiento de sus articulaciones, ligamentos y huesos. Además de la edad, otros factores importantes son:

1. Edad: Identifica nivel de madurez
2. Peso: Identifica masa corporal.
3. Estatura: Identifica estructura ósea y antropométrica.
4. Grado Escolar: Identifica nivel socioeconómico y hábitos familiares.
5. Nivel Socioeconómico: Identifica nivel de nutrición y hábitos.
6. Actividades deportivas: Identifica hábitos familiares y estructura ósea.

Esta información nos dará la pauta para entender la patología a la que se enfrentará el medico especialista, pues en ocasiones las deformidades de pie no son un problema aislado, sino pueden ser el primer indicativo de alguna lesión neuronal, que definitivamente requiere cuidados especiales de otra índole.

Un niño con problemática de cualquier tipo en sus pies debe ser tratado como un individuo único, con requerimientos particulares, dimensiones particulares y soluciones particulares. De ninguna manera debe ser resuelta su necesidad con plantillas, ortesis o zapatos previamente fabricados y estandarizados para abarcar un mayor mercado. Podría existir un beneficio en el usuario final, pero podría ser por lo contrario, una solución superficial o un detrimento de su condición física.

El paciente debe ser diagnosticado aprovechando el avance tecnológico con el que contamos en estos tiempos, que le garanticen calidad en el diagnóstico, servicio y un tratamiento adecuado a su patología.

Debe de ser valorado por medio de un sistema que le proporcione continuidad al tratamiento. No se trata de recetar o adquirir unas plantillas, utilizarlas un mes y olvidarlas.

Para que esto se dé de manera eficaz se le debe proporcionar al infante:

- Un estudio profundo de su patología que garantice una solución personalizada.
- Continuidad en el tratamiento, para analizar avances o retrocesos.
- Corregir rutas de tratamiento a partir de chequeos periódicos, comparando resultados de fechas anteriores.
- Una plantilla ideal para cada pie de cada niño, elaboradas con el material ideal para su rehabilitación.

1.12 Métodos para la medición del arco plantar

El arco longitudinal del pie, junto con la rodilla, integra el sistema de amortiguamiento de fuerzas de impacto en nuestras extremidades inferiores. He ahí la importancia de contar con sistemas confiables para dimensionar al arco plantar. Existen varios investigadores que han desarrollado diferentes métodos para catalogar sus características. Algunos de ellos coinciden y otros se contraponen. El Doctor Shupin Xiong, analizó todos estos métodos e hizo un estudio detallado sobre los mismos.⁴¹ Midió detalladamente el pie derecho de 48 individuos sanos (24 hombres y 24 mujeres). Utilizó varios métodos para concluir cual era el mas eficiente desde su punto de vista. Los métodos que utilizó fueron:

- Métodos basados en la huella plantar, donde el fundamento principal es que la altura del arco plantar, se relaciona con el área de la huella.
 - *Arch Height Index*⁴² Índice de largo del arco
 - *Staheli index*⁴³ Índice de Staheli
 - *Chippaux-Smirak index*⁴⁴ Índice de Chippaux-Smirak
 - *Arch or printfoot angle*⁴⁵ Ángulo de arco o huella
 - *Footprint index*⁴⁶ Índice de la huella del pié
 - *Truncated arch index*⁴⁷ Índice del arco truncado
 - *Modified arch index*⁴⁸ Índice del arco modificado
 - *Brucklen index*⁴⁹ Índice de Brucklen

⁴¹ **SHUPING XIONG.** *Foot Arch Characterization.* A review, new metric and a comparison. Enero 2010.

⁴² **CANANAGH PR, RODGERS MM:** *The Arch Index: a useful measure from footprint.* J Biomech 20: 457. 1987.

⁴³ **STAHeli LT, CHEW DE, CORBETT M.** *The longitudinal arch: a survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults.* J Bone Joint Surg Am. 69: 426. 1987.

⁴⁴ **FORRIOL F. PASCUAL:** *Footprint analysis between three and seventeen years of age.* Foot ankle 11: 101. 1990.

⁴⁵ **SCHWARTZ L, BRITTEN RH:** *Studies in Physical development and posture.* US Government Printing Office, Washington D.C. 1982.

⁴⁶ **IRWIN LW:** *A study of the tendency of school children to develop flat-footness.* Res Q 8:46, 1937.

⁴⁷ **HAWES MR, NACHBAUER W, SOVAK D.:** *Footprint parameters as a measure of arch height.* Foot Ankle. 13-22, 1992.

⁴⁸ **CHU WE, LEE SH.** *The use of arch index to characterize arch height: a digital image processing approach.* IEEE Tras Blomed Eng. 42: 1088. 1995.

⁴⁹ **JUNG K:** *Women in long distance running.* Ann Sports Med. 1: 17. 1982.

- Métodos basados en índices de la postura, como:
 - *Valgus index*⁵⁰ Índice del Valgo
 - *Malleolar Valgus Index*⁵¹ Índice del Valgo Maleolar
 - *Foot posture index*⁵² Índice de posición del pie

- Métodos basados en relación a la dimensiones:
 - *Arch height o Navicular height*⁵³ Altura del arco o navicular
 - *Foot length /truncated foot length*⁵⁴ Largo del pie truncado
 - *Navicular drop / Navicular drift*⁵⁵ Caída del navicular
 - *Talar head height/arch length*⁵⁶ Altura de cabeza del talón

- Métodos basados en el ángulo de inclinación de pie:
 - *Longitudinal arch angle*⁵⁷ Angulo de arco longitudinal.
 - *Rearfoot angle*⁵⁸ Angulo trasero del pie
 - *Calcaneal–first metatarsal inclin. angle*⁵⁹ Ang. Calcáneo/primer metatarso

- Métodos basados en grado de función (Foot function related):
 - *Rearfoot-forefoot angle*⁶⁰ Angulo pie trasero-delantero.
 - *Center of pressure excursión index*⁶¹ Índice de centro de presión.

⁵⁰ **SAMMARGO GJ:** *Rehabilitation of the Foot and Ankle*, Mosby-Year Book Inc., St. Louis. 1995.

⁵¹ **SONG J., HILLSTROM HJ:** *Foot type bio-mechanics: comparison of planus and rectus foot types*. JAPMA 86: 16. 1996.

⁵² **REDMOND AC:** *Development and validation of a novel rating system for scoring foot posture*. Clin. Biomech. 21: 89. 2001.

⁵³ **McCRORY JL:** *Arch index as a predictor of arch height*. The foot 7: 147. 2004.

⁵⁴ **WILLIAMS DS:** *Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch*. Phys Ther, 80:864, 2000.

⁵⁵ **VINICOMBE A, RASPOVIC A. MENZ:** *Reliability of navicular displacement measurement as a clinical indicator of foot posture*. JAPMA. 91: 262, 2001.

⁵⁶ **SIMKIN A. LEICHTER I.:** *Combined effect of foot arch structure and an orthotic device on stress fractures*. Foot Ankle. 10: 25, 1989.

⁵⁷ **NORKIN CC, LEVANGIE PK:** *Joint Structure and Function*. FA Davis, Philadelphia, 1983.

⁵⁸ **JONSON SR.** *Intraexaminer reliability and mean values for skeletal measures en healthy naval shipmen*. J Orthop Sports Phys Ther 25: 253. 1997.

⁵⁹ **SMITH LS, CLARKE TE:** *The effects of soft and semi-rigid orthoses upon rearfoot movement in running*. JAPMA 76: 227. 1986.

⁶⁰ **FREYCHAT P.** *Relationships between rearfoot and forefoot orientation and ground reaction forces during running*. Med Sct Sports Exer. 28: 225, 1996.

- Métodos basados en la observación, lo cual depende directamente de la experiencia clínica del investigador o médico aplicante.⁶²

La conclusión del Dr Xiong, en su investigación fue que el método más apropiado para dimensionar al arco plantar es el del Ángulo dorsal de la mitad del pie (*midfoot dorsal angle*) debido a su facilidad de medición. Existen dos métodos experimentales mencionados por Xiong, sobre técnicas de medición de arco plantar (*Arch Index*). A continuación se explican:

1.12.1 Índice del arco/índice del valgo maleolar⁶³

(*Arch Index / Malleolar Valgus Index*)

El índice maleolar valgo (*Malleolar valgus Index MVI*) es la unidad que resulta de las dimensiones del pie con deformidad, tomadas con un equipo de escáner plano. MVI es un valor útil para categorizar la estructura de un pie, tomando como referencia un espectro de medidas, dentro de las cuales se contienen las del pie plano, recto o sano (idealmente alineados), y el cavo (cavus o con arco alto).

Para hacer una medición de MVI, se coloca sobre una plataforma de acrílico y a su vez ésta, sobre un escáner plano. Con un medidor especial, se miden los maléolos interno y externo (hueso del tobillo) como se muestra en la Figura 35.

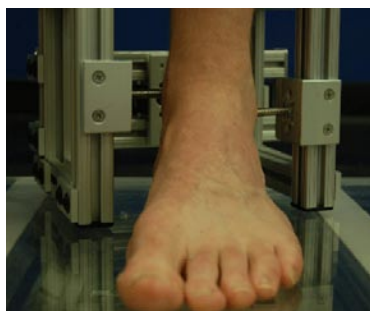


Fig. 35-Medición del IMV (Índice del Valgo de Maléolos)

⁶¹ SONG J, HILLSTROM SJ. Foot type biomechanics: comparison of planus and rectus foot types. JAPMA 86.16, 1996. Recuperada desde <http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/images/mvi.tif>

⁶² SHANG TY, LEE SH. Evaluating different footprint parameters as a predictor of arch height. IEEE Eng Med Biol Mag. 17: 62, 1998.

⁶³ Recuperado Agosto 16, 2008, 22.34 hrs. desde http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/arch_ht.html

Asimismo se realiza una digitalización común de la planta del pie y se edita en escala de grises a 8 tonos, de tal modo que permita una mejor visión de los pies en contacto con el suelo. (Ver Figura 36). La exploración se imprime y se realizan mediciones para determinar las siguientes:

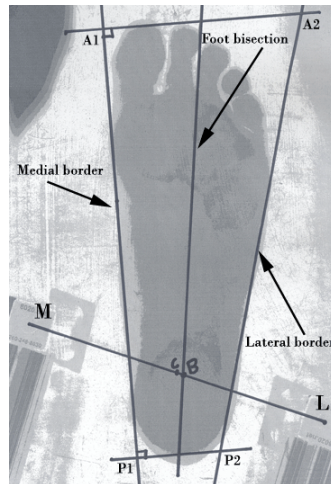


Fig. 36 Medición del IMV a través de plantigrafía

Recuperada desde http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/images/mvi_scan.gif

La ecuación para determinar el valor MVI es la siguiente: ⁶⁴

$$MVI = [BC / (ML-MOV)] * 100$$

Donde:

ML= Longitud entre guía marcador lateral y medial guía marcador

BC= Longitud entre los *pies bisección línea* y el punto medio de la *línea de bisección malleolar (ML)*; la ***línea de pie bisección*** está determinada por la búsqueda de los puntos medios de las líneas A1-A2 (el más borde anterior) y P1-P2 (la más borde posterior); estas dos líneas se dibujan en la perpendicular a la *línea frontera media* y terminan a la *línea frontera laterales*.

MOV= constante medición de la distancia entre la guía, el maléolo medial y el maléolo lateral.

⁶⁴ <http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/mvi.html>

1.12.2 Altura del Arco Plantar (*Arch Height*)

La medición de altura del arco es una manera de categorizar la forma del pie así como su estructura, es también un medio para comparar esta estructura entre una posición en reposo, (con el paciente sentado) a una posición en carga (de pie).

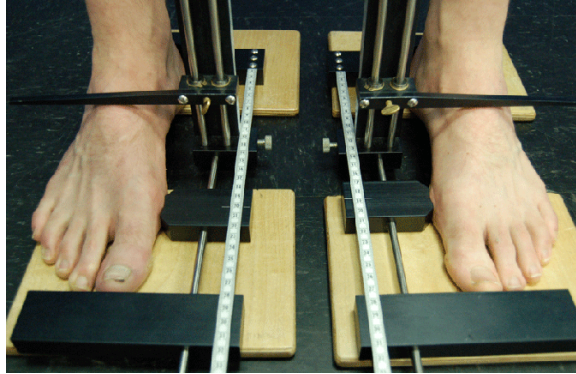


Fig. 37. Medición de la Altura del Arco Plantar.

Recuperada desde http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/images/arch_height.gif

Para medir la altura del arco, el paciente se sienta en una silla y coloca ambos pies en el suelo; se colocan dos toques, el primero justo bajo el talón y el segundo, por debajo de la cabeza de los metatarsianos para permitir la caída máxima del arco; se colocan unas guías a la derecha y a la izquierda del pie se usan para medir la longitud total del pie y la longitud truncada del pie, (equivale a el largo desde el talón hasta la primera unión metatarso-falangeal). (Ver Figura 37.)

La altura del arco se mide así: a la mitad del largo total del pie se colocan unas pesas en caída libre, y se mide el alto del arco contra una constante horizontal. Posteriormente, se pide al paciente que se ponga de pie, y se vuelve a tomar la medida de la altura del arco. Con estos datos, se obtienen el índice de altura de arco en posición sentada y de pie, el Índice de rigidez del Arco y el Índice de Caída del Arco.

- **Índice de Altura del Arco / Arch Height Index (AHI)** (IAA)⁶⁵ = Altura del Arco a ½ longitud / Longitud Truncada pie / sentado
- **Índice de Rigidez arco (IRA)** = IAA de pie / IAA sentado
- **Arco de caída** (mm) Altura: Arco ½ pie en sentado – Altura del Arco de pie.

⁶⁵ http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/arch_ht.html

CAPITULO 2

Propuesta del sistema a diseñar

El sistema que se presenta busca básicamente trazar una ruta de ataque a la problemática muy generalizada de pie infantil. Con el sistema propuesto el niño será diagnosticado de acuerdo a sus características físicas personales generales y específicas, para posteriormente complementar las mediciones con la fabricación de la plantilla ideal, misma que será generada a través de las Nuevas Tecnologías.

2.1 Requerimientos generales

Para un adecuado diagnóstico del paciente es indispensable el conocerlo, saber su origen y ubicación dentro de su círculo social inmediato, pues al formar parte de un grupo etnológico, hereda muchas de sus características físicas, recreativas, ambientales, sociales, en fin, requerimos un ligero perfil socio-antropológico.

Se propone la creación de un sistema que permita:

- Ser utilizado por cualquier médico pediatra u ortopedista.
- Ser utilizado en cualquier tipo de comunidad, sea esta rural o urbana.
- Fácil uso con la toma de pocos datos.

Se toman datos de investigación generales, como:

- Edad
- Genero
- Altura
- Peso
- Escolaridad
- Ubicación de nivel social
- Actividades deportivas
- Tipo de actividades recreativas

2.2 Requerimientos particulares

Después de procesar la información general del niños, es posible adentrarse al diagnostico personalizado, a través de la medición de ambos pies, calculando posiciones relevantes de la estructura ósea, para de este modo evaluar si el niño requiere tratamiento con plantillas o puede ser rehabilitado con ejercicio y/o terapia. Para ellos es importante siempre:

- Respetar las diferencias individuales entre cada paciente.
- Evaluar las diferencias ambos pies, de un mismo individuo.
- Generar datos numéricos representativos solo de ese usuario.
- Generar soluciones personalizadas.

2.3 Apoyos tecnológicos

Se propone el obtener parámetros numéricos requeridos a través de dos principales posibilidades tecnológicas:

1. Digitalizador 3D
2. Baropodometria

El avance tecnológico con el que se cuenta actualmente, definitivamente ofrece un abanico enorme de soluciones a casi cualquier requerimiento. Sin embargo es importante no perderse en ese cúmulo de datos tecnológicos; es responsabilidad del diseñador hacer la selección mas adecuada y minuciosa posible entre toda la oferta de opciones; además de aplicarla adecuadamente, obteniendo un óptimo beneficio.

2.3.1 OPCION 1 - Digitalizador 3D

También se le conoce como Scanner 3D, o más particularmente *Scanfoot*. (Ver Figura 39). Por medio de este equipo, se adquiere una digitalización a tamaño real del pie del usuario, incluidas sus patologías y sus características dimensionales completas.

Se obtienen puntos precisos en los ejes x, y, z, para recrear superficies o volumen del arco plantar enfermo. Comparativamente con una base de datos gráfica y numérica de un arco plantar sano, obtener la diferencia entre ambos. Lógicamente, al existir diferencias entre alturas y longitudes ese marco nos proporcionaría los datos requeridos para prescribir acertadamente el diseño de ortesis personalizadas para el pie enfermo.



Fig. 38 Scanfoot / Scanner 3D especial para digitalizar el pie
Fotografía proporcionada por CIATEC, León, Gto.

Se sabe que la intención de un digitalizador, es la de representar o emular ya sea bidimensional o tridimensionalmente, (según el tipo de digitalizador) al objeto que se le designe para explorar.

En este caso, el digitalizador representa tridimensionalmente cada uno de los datos, distancias y valores representativos de los pies a digitalizar; de este modo se obtiene

un modelo tridimensional de cada uno de los pies seleccionados. Como lo muestra la Figura 39.



Fig. 39 Uso del digitalizador Scanfoot 3D

Imagen proporcionada por CIATEC, León, Gto.

A través de una densa nube de vectores y puntos de control, es como se logra localizar cada punto importante en la anatomía de dicho pie, reproduciendo tanto pies sanos, como los que poseen alguna patología, evidentemente; de este modo se obtiene una biblioteca de pies sanos y enfermos con los cuales trabajar. (Ver Figura 40.)

El proceso a seguir consiste en “sustraer” o “restar” de un pie “enfermo” a un pie “sano”. La diferencia entre ambos, marcará claramente el factor que es sensible de rehabilitación.

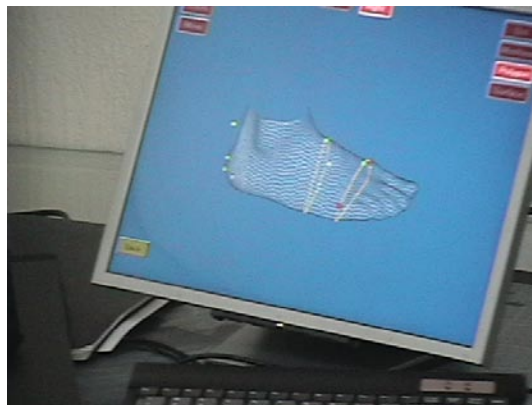


Fig. 40 Pie digitalizado

Imagen proporcionada por CIATEC, León, Gto.

2.3.2 OPCIÓN 2 – Análisis biodinámico de la marcha / Baropodometría

La marcha humana es una de las características inherentes a nuestra especie; es la posibilidad de lograr un desplazamiento tan sólo en dos extremidades de manera prolongada en el tiempo.

“Serie de movimientos alternantes y rítmicos de las extremidades y del tronco, que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad con un mínimo gasto de energía”⁶⁶ (Ver Figura 41.)

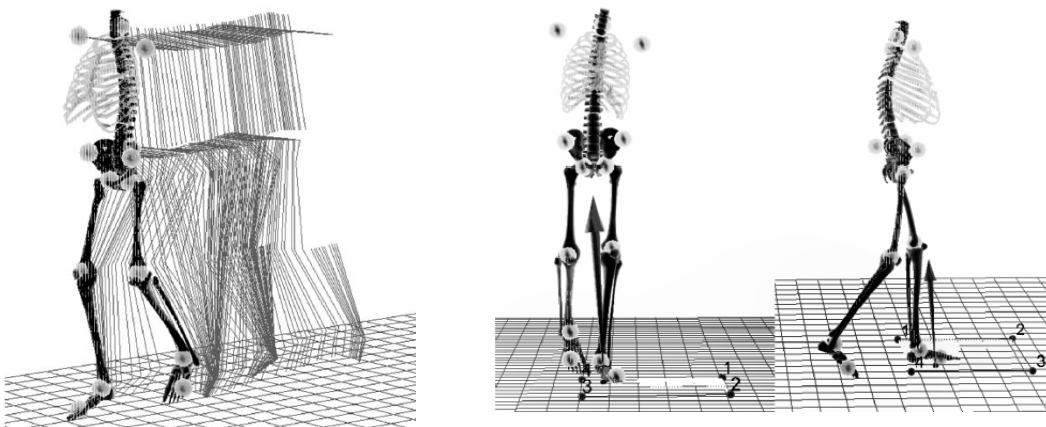


Fig. 41 Reconstrucción ósea 3D, en el visualizador Viewer 3D.

Rescatada desde www.scribd.com/doc/21329796/El-Estudio-de-La-Marcha

El análisis de la marcha humana resulta de gran utilidad para una amplia gama de aplicaciones, como el diagnóstico y elección de tratamientos en pacientes con enfermedades neuro-músculo-esqueléticas, ya sean transitorias o permanentes, locales o generales. Algunos de estos padecimientos que afectan la deambulación son evaluados. Algunos de estos con presencia de dolor, lo que lleva a adoptar posturas incorrectas, enfermedades de debilitamiento general, como cánceres, patologías respiratorias, edad, obesidad o incluso problemas psicológicos o psiquiátricos como cuadros depresivos.⁶⁷ Los métodos y tecnologías existentes para

⁶⁶ <http://www.scribd.com/doc/21329796/El-Estudio-de-La-Marcha>

⁶⁷ **VILLA MORENO, ADRIANA.** *Consideraciones para el análisis de la marcha humana.* Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. Revista Ingeniería Biomédica. Vol. 2, Num. 3, Enero-Junio 2008. Págs. 16-26. Medellín, Colombia.

este análisis son numerosos y permiten la obtención de los parámetros cuantitativos característicos de un patrón de marcha de manera objetiva. (Ver Figura 42.)



Fig. 42. Modos de visualización de Dartfish. Estudio de marcha con prótesis permanente en pierna izquierda.

Rescatada desde www.scribd.com/doc/21329796/El-Estudio-de-La-Marcha

Como pilares del Análisis de la Marcha, están la Baropodometría Electrónica y las Plantillas instrumentadas. Esta técnica funciona con las herramientas recién mencionadas. Las plantillas van insertas en los zapatos del niño, durante una prueba dinámica. Se obtienen puntos de carga extrema y presión máxima, mismos que comparativamente con los rangos de máxima presión en un pie sano, generarían los valores dimensionales de la plantilla u ortesis requerida por cada uno de los pies enfermos. Fig. 43.

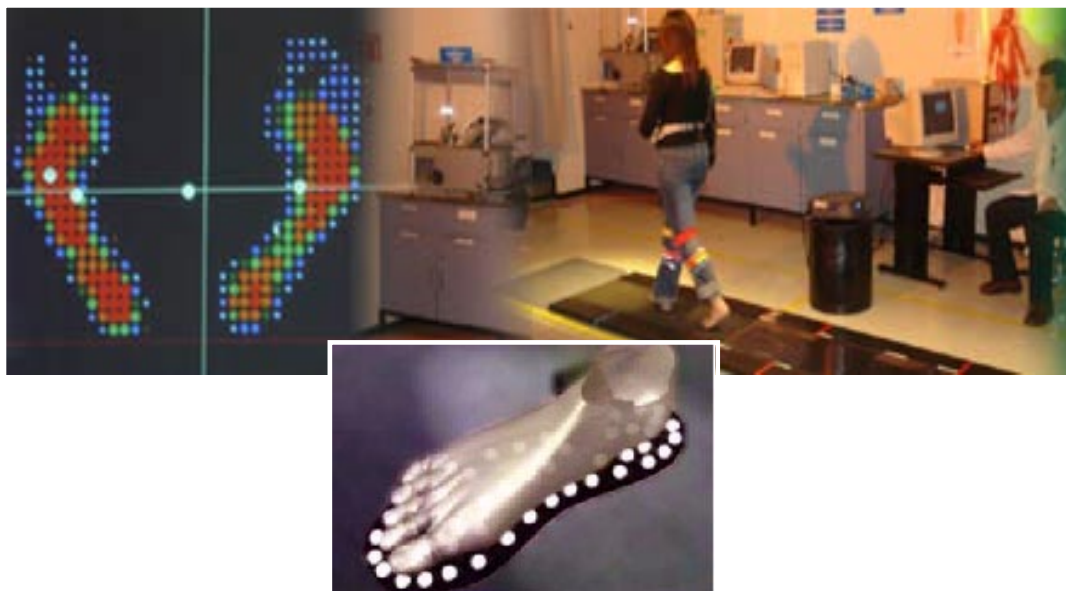


Fig. 43. Análisis de la marcha. Plantillas instrumentadas y sus resultados gráficos.

Rescatada desde <http://www.ciatec.mx/>

La Baropodometría electrónica es un sistema relativamente nuevo en la Biomédica. Registra de las presiones plantares, mediante sensores y la transmisión por radiofrecuencia. Detecta las alteraciones mecánicas y posturales del pie, lo que permite una mejor orientación de su tratamiento.⁶⁸

Entre sus múltiples indicaciones, podemos destacar:

- Metatarsalgias, talalgias
- Pie diabético
- Deportistas y rendimiento deportivo
- Valoración de daño corporal

Los estudios de la marcha tienen la ventaja de realizarse con el calzado habitual del paciente, lo que permite orientar tratamientos y valorar la eficacia de las ortesis y/o plantillas.

El procedimiento para la obtención de un estudio de la marcha es muy sencillo. Tan solo debe pedirse al paciente que camine a un paso normal, sobre la banda indicada. Dentro de los zapatos se colocan las plantillas instrumentadas (con sensores de presión) y se reciben una gran cantidad de datos para su posterior valoración, como:

- Determinación del mapeo de presiones plantares para cada pie. (Externo, Interno, Retropié, Antepié) y valor numérico. (Ver Figura 44.)
- Pruebas de análisis de la marcha humana.
- Determinación de las magnitudes de fuerzas equilibrantes para cada pie al caminar.
- Determinación del ángulo de pisada (dirección de la huella).
- Pruebas gráficas dinámicas de cargas y patrones de carga plantares.
- Video.
- Información determinante para rehabilitación del pie. (Ver Figura 45.)

⁶⁸ **INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA.** *Biomecánica de la Marcha humana normal y patológica.* Madrid, España. 2001.

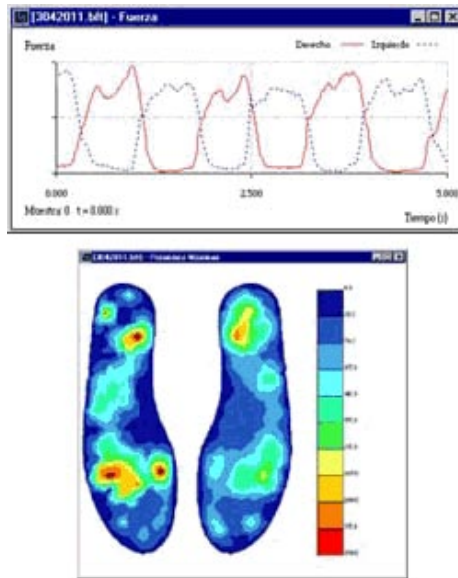


Fig. 44 Mapeos y gráficas de presiones plantares a través de plantillas instrumentadas.
Imágenes proporcionadas por CIATEC, León Gto.

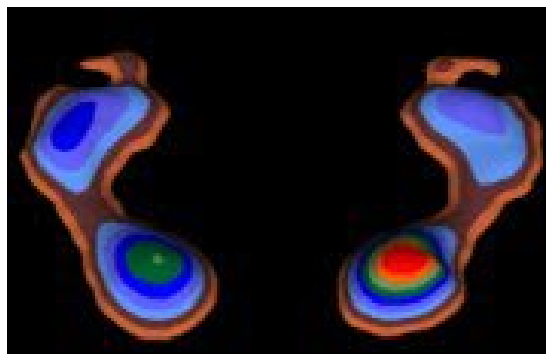


Fig. 45 Modelo tridimensional de molde para plantilla espolón calcáneo
Imágenes proporcionadas por CIATEC, León Gto.

2.4 Propuesta de Sistema para Diagnóstico de Patologías en Pie Infantil

A continuación se explica detalladamente el método propuesto para medir el arco plantar a rehabilitar. Se propone que para dimensionar adecuadamente el arco plantar y sugerir una rehabilitación idónea, el diagnóstico deberá basarse en:

2.4.1 PUNTO A - Rehabilitación en arco longitudinal:

- Existe un punto anatómico en el arco longitudinal del pie que define su altura y por lo tanto su grado de “salud”: el hueso del pie conocido como “**navicular**”. Su límite inferior marca la altura del arco plantar, por lo tanto, corresponde a la zona a rehabilitar en la plantilla. Debe tomarse el extremo de los dedos del pie, como el origen para iniciar la ubicación del navicular.
- Anatómicamente el navicular cuenta con una posición en la estructura ósea. Puede ser ubicado plenamente sabiendo el largo total del pie, independientemente de la talla de pie a tratar. Para ubicarlo se toma como referencia que el eje “x”, corre a lo largo del pie y el eje “y” es representado por el ancho del pie; el eje “z” será la vertical de la pierna. (Ver Figura 48).

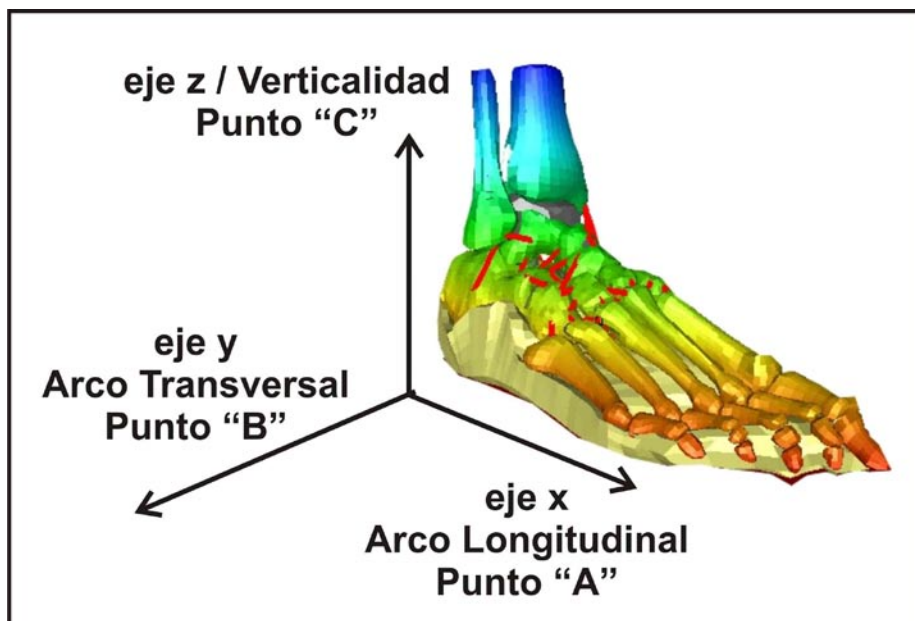


Fig. 48 Ubicación de puntos “A”, “B” y “C” en ejes X,Y y Z
Diagrama creado por la autora a partir de imagen recuperada de
<http://www.visionmedicavirtual.com/es/galerias>

- Se propone para localizar al punto “navicular”, en base a un factor = 1.8065 del largo total (Ver Figura 49.)
- **Largo de pie / 2.2432 = N en eje “x”**
 - Ejemplo: Largo total del pie= 201.38 / 2.2432 = 111.48.
Teniendo como resultado la coordenada en eje “x” del navicular (alto de arco a tratar)

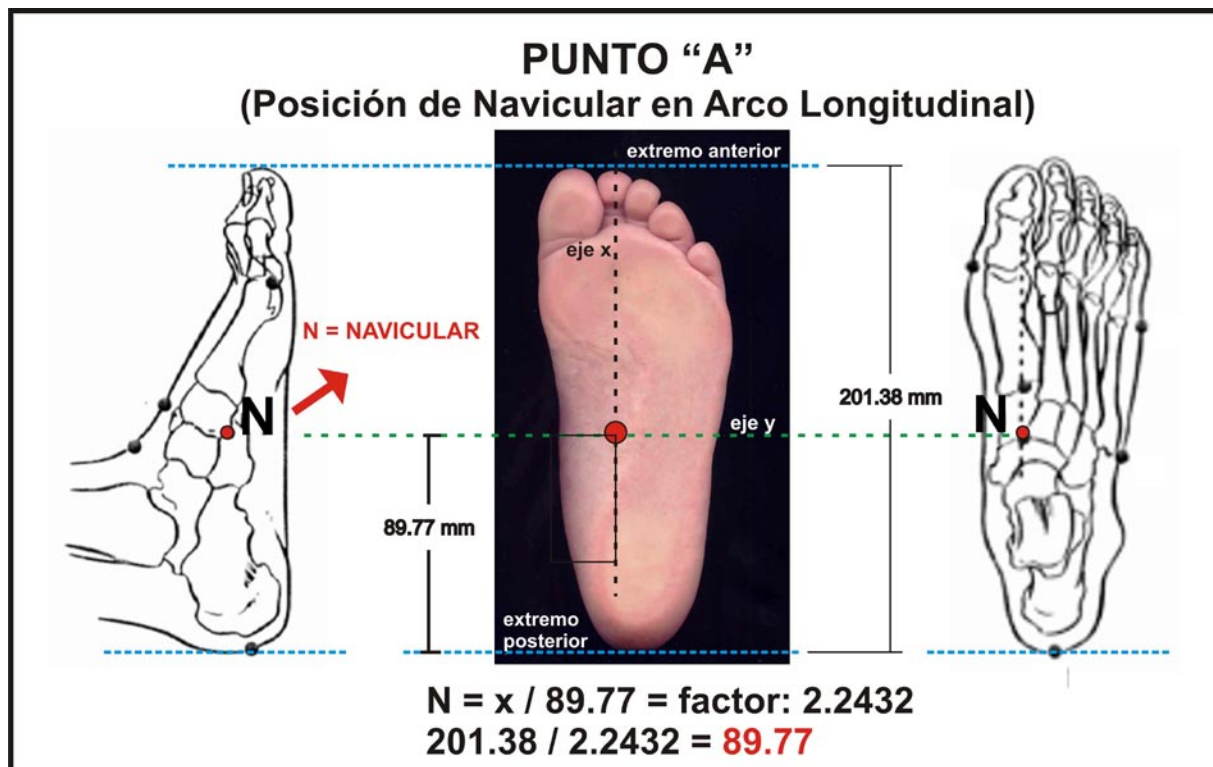
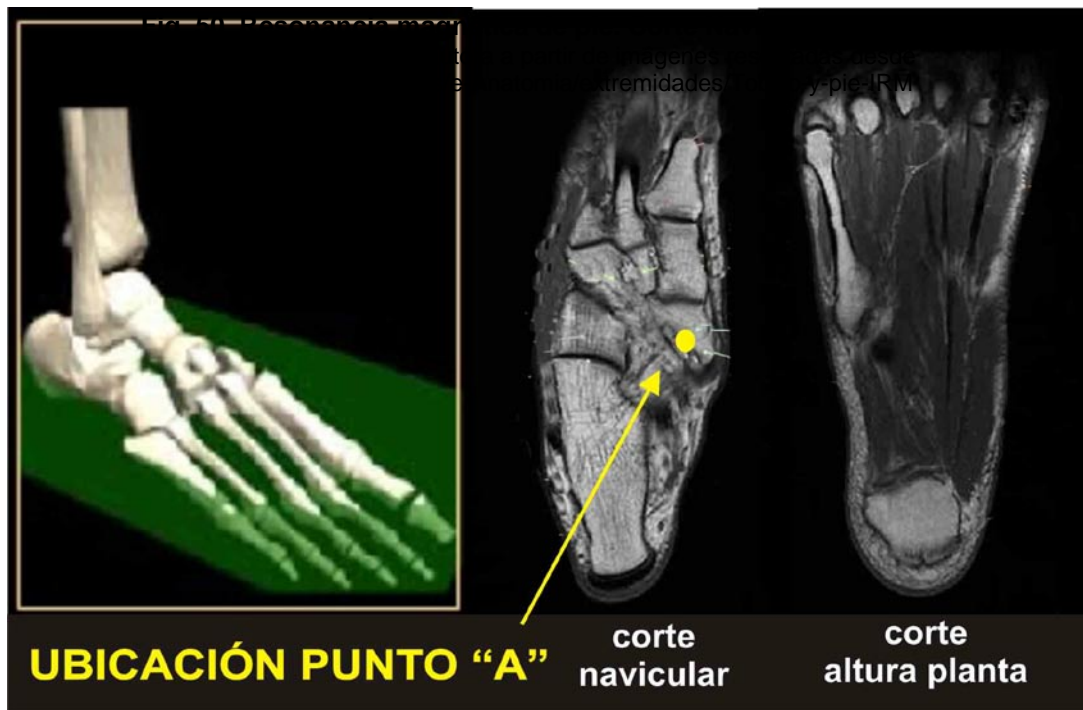


Fig. 49 Ubicación de punto “A” para rehabilitación en arco longitudinal
Diagrama creado por la autora.

Factor a relacionarse con el largo del pie = 2.24

Para ilustrar de un modo mas claro la ubicación del Punto A, se muestran imágenes de resonancia magnética de pie, con corte a la altura del navicular. (Ver Figura 50.)



2.4.2 PUNTO B - Rehabilitación en arco transversal

- A diferencia del punto anterior, en el arco transversal no existe un punto a tratar, sino se recomienda el manejo de “zonas a tratar”, puesto que el ancho de dicha zona delimita la diferencia entre un pie sano y uno enfermo.
- En el sistema de medición de Índice de Arco o el Índice de Huella Plantar, a partir de una plantigrafía, se trabaja dividiendo la huella en 3 zonas: divide al pie en su anchura. (Ver Figura 51.)

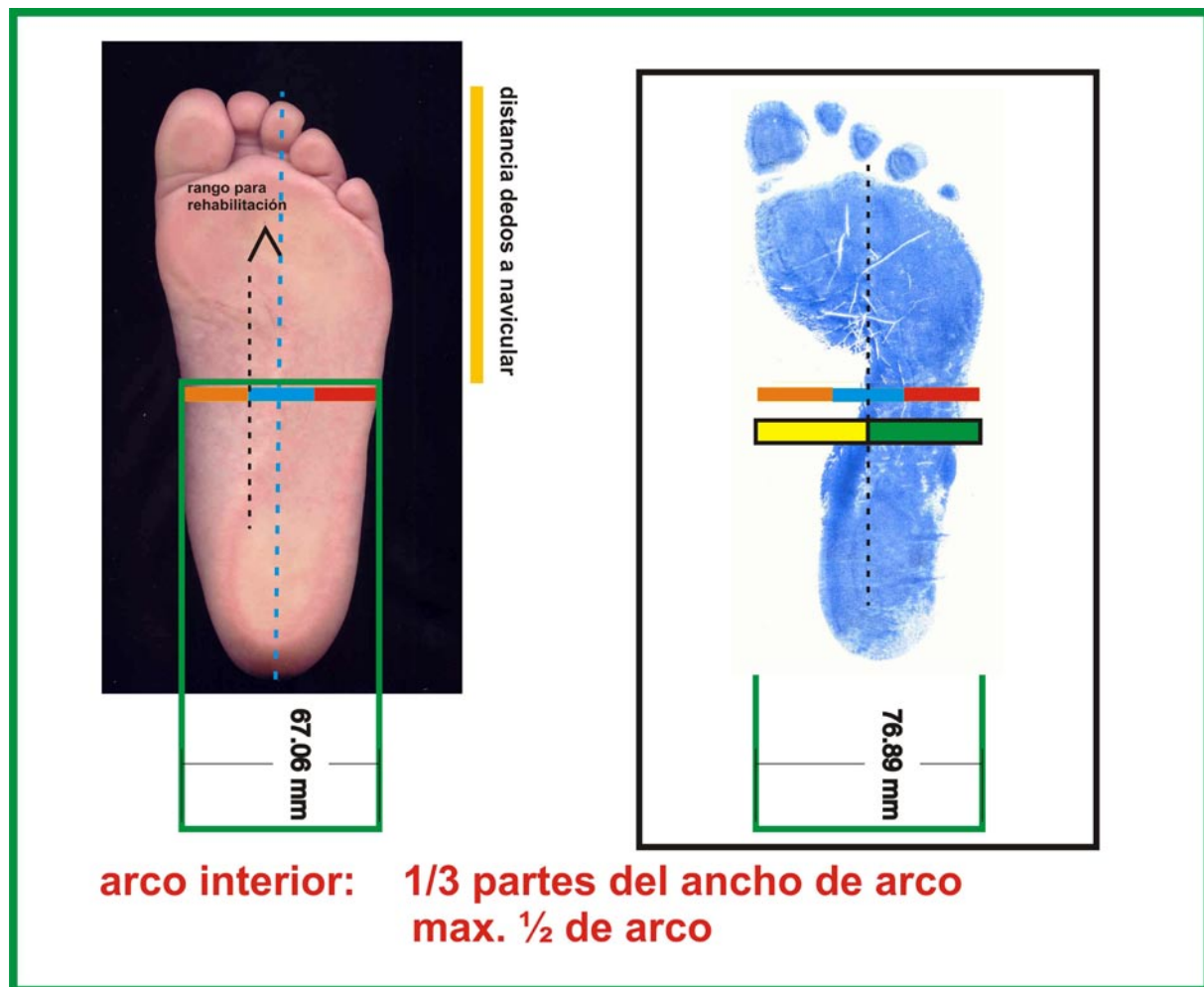


Fig. 51 Ubicación de punto “B” para rehabilitación en arco transversal
Diagrama creado por la autora.

Se propone que la planta se divida en 3 zonas, pero longitudinalmente, dado que la inclinación sobre la vertical de la pierna, gira sobre el eje “z”, misma inclinación que determina el grado de patología.

Método:

ANCHO PIE / 3 * 2 = B PARA PIE NORMAL A CAVO

67.06 /3= 22.35

22.35 * 2= 44.70 (máxima área en mms. para levantar arco plantar)

ANCHO PIE / 3 * 1.5 = B MINIMO (PARA PIE PLANO RIGIDO Y VALGO)

67.06 /3= 22.35

22.35 * 1.5 = 33.52 (minima área en mms. para levantar arco plantar en plano y valgo).

2.4.3 PUNTO C – Altura del arco plantar

EL arco deberá ser siempre proporcional a la talla del pie: a mayor talla, mayor altura del arco que deberá ser rehabilitada.

Siempre deberá tomarse como base el valor de A, previamente localizada.

	VALOR A	Valor C
RANGO 1	75 – 80 mm.	15 mm.
RANGO 2	81 – 90 mm.	16 mm.
RANGO 3	91 – 95 mm.	18 mm. – máximo 20

Donde C= Altura de arco plantar a rehabilitar

Nota: Es útil agregar que todas estas dimensiones, son meros cálculos estandarizados a partir de la información obtenida por la investigación, por lo que se considera debería coincidir con la mayoría de la población infantil. Evidentemente, existirán casos de patologías más serias, con malformaciones físicas muy específicas, por lo que se requeriría una evaluación más especializada.

CAPITULO 3

Método de Comprobación de Hipótesis

3.1 Mediciones realizadas

Previamente se explicaron las dos opciones tecnológicas con las que se contaba, para comprobar la hipótesis.

- a) Digitalizador 3D
- b) Análisis bio-dinámico de la marcha

Para este estudio, se decidió realizar las mediciones requeridas a través de la opción del digitalizador 3D. Un estudio biodinámico de la marcha resolvería de manera óptima la problemática que se aborda en esta investigación, pues arroja información valiosa sobre las patologías en si, su comportamiento durante la marcha y podrían además recrearse animaciones del pie enfermo ya con su plantilla en movimiento.

Actualmente contar con un equipo para análisis de marcha, implica realizar estudios en un laboratorio, resultando complejo el traer pacientes para realizar las mediciones. Si se proyecta a futuro el sistema de diagnostico, ya en un caso real, si contara con un digitalizador 3D, seria mucho mas fácil de ubicar en cualquier cubículo medico, consultorio, etc. Para llevar a cabo este estudio, se requerían evidentemente gran cantidad de niños con patologías de pie, pero sobre todo con disposición y autorización de sus padres, para ser medidos y valorados.

Derivado del estudio de campo que se estaba realizando para poder encontrar los equipos existentes en México con los que se pudieran hacer pruebas que ayudarán a obtener resultados significativos para comprobar la hipótesis, se contactó con CIATEC, A.C., Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, dedicado a ofrecer a las empresas servicios tecnológicos, quienes se interesaron con el proyecto y nos ofrecieron su ayuda y participación.

Inicialmente, se buscó llevar a cabo el estudio en la Ciudad de México, trasladando equipo técnico y personal del CIATEC, A.C, por lo que los niños deberían vivir en el área metropolitana y poder concentrarlos en un mismo punto y así llevar a cabo las

digitalizaciones. Pero esta opción terminó descartándose, dado que resultaba difícil ubicar niños con patologías de pie, reales, dispuestos y en un mismo momento y debido también, a que a pesar de que el CIATEC siempre estuvo dispuesto a colaborar con el proyecto, le resultaba oneroso desplazar sus equipos hasta la ciudad de México.

Se cambió la opción de realizar el estudio en la ciudad de León, Guanajuato, donde el Dr. Jesús Nicasio Razo, médico ortopedista e Investigador Clínico del Departamento de Medicina y Nutrición del IISTUG, Instituto de Investigaciones Sobre el Trabajo de la Universidad de Guanajuato, persona que trabaja muy en paralelo con CIATEC, AC., quien propuso se hiciera en una escuela donde ya previamente había evaluado niños y niñas, encontrando conjuntamente, un grupo infantil con diversas patologías de pie y además, dispuesto a cooperar en todo momento. De igual manera, gracias a la disposición de los directivos de la escuela, se pudo llevar a cabo esta investigación.

El mencionado estudio fue aplicado a niños en edad escolar, primaria específicamente, primero y segundo escolar, de la Escuela Primaria No. 4, Eufrasia Pantoja, en León, Gto. Podemos observar en las Fig. 50 y 51, una placa con el nombre de la escuela, y vista exterior de la misma.



Fig. 50 Placa metálica con nombre de la Escuela Primaria No. 4, Eufrasia Pantoja, en León Gto.



Fig. 51 Acceso a la Escuela Primaria.

La medición se les realizó a 35 niños, previamente detectados con patología de pie por el mismo Maestro J. Jesús Nicasio Razo, quien apoyó clínicamente la toma de datos. Asimismo, se contó con el apoyo personal y tecnológico de CIATEC, A.C., con instalaciones ubicadas en León, Guanajuato.

Como agradecimiento y correspondencia a su apoyo, se ofreció para cada niño evaluado y con patología de pie, la elaboración de unas plantillas hechas a su medida. Fue así que la directora y los padres de familia, accedieron a la medición de los infantes, durante un día de labores escolares normales en el mes de septiembre de 2007.

3.2 CIATEC, A.C.

CIATEC, A.C. pertenece al grupo de Centros Públicos CONACYT, donde se realizan labores de investigación en apoyo a la industria del país, dado que cuentan con un elevado numero de científicos de alto nivel y poseen una importante infraestructura; cada una de las instituciones que los integran, se especializa en algunas disciplinas, las cuales se complementan para conformar un régimen multidisciplinario de enorme potencial para resolver problemas complejos en apoyo a la ciencia y tecnología. CIATEC, cuenta con Proyectos de Desarrollo Tecnológico en las áreas de: *Biomecánica, Ambiental, Curtiduría, Calzado, Materiales y Cadena de Suministro*. Ofrecen vinculación y apoyo al desarrollo tecnológico de los sectores productivos, apoyo para gestionar fondos con entidades federales y estatales.

Algunos de los apoyos existentes son:

- Gestión de Fondos Mixtos, estatales y federales, Fondos Sectoriales, Secretaría de Economía, Secretaría de Salud, Secretaría de Energía, etc.
- Estímulo fiscal.
- Apoyo a las empresas en el desarrollo de proyectos tecnológicos y trámites necesarios para gestión de patentes, modelos de utilidad o secretos industriales.

- Personal especializado en distintas áreas de conocimiento: Cuero, Calzado, Ingeniería Industrial, Electrónica, Informática, Polímeros, Ambiental.
- Experiencia de más de 25 años en el ramo industrial-manufacturero ofreciendo resultados tangibles que han incrementado la productividad y competitividad del sector productivo.(Ver Figura 52.)



Fig. 52 Instalaciones de CIATEC, A.C. en León, Gto.

A través de una solicitud realizada al director del CIATEC, AC., Ing. Luis Torreblanca Rivera, por la Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, se consigue el apoyo tecnológico para el presente estudio, pues resultó de interés común, ya que el centro presta constante orientación y asesoría para la industria del calzado. Gracias a este convenio, se facilitó el equipo tecnológico y personal de CONACYT, como los Asesores Técnicos en Biomecánica, Ing. Constantino Vidal Guerrero e Ing. Manuel Hernández Trejo.

3.3 Criterios de Medición

Basado en la investigación sobre las patologías previamente realizada, se tomó como base analizar a niños de ambos sexos, en edad escolar, es decir entre 7 y 11 años, dado que es el periodo de edad que coincide con el fortalecimiento de los ligamentos y articulaciones en las extremidades, consecuencia tanto del crecimiento, como de una sana actividad deportiva; asimismo la grasa plantar disminuye considerablemente, por lo que toda aquella información recopilada es mucho mas fidedigna que en etapas previas de la niñez.

La muestra que se decidió evaluar fue de 35 niños. Inicialmente la propuesta fue medir sólo niños con patología, pero poco a poco la investigación derivó hacia la búsqueda de enriquecer la investigación comparando diversas patologías en pie, en niños de misma edad, mismo grado escolar y de ambos sexos. El Dr. Nicasio, investigador ya del tema de pie plano, sugirió el medir a niños que él previamente ya había identificados en una escuela primaria oficial de la ciudad de León, Guanajuato. El planteamiento fue medir niños con las siguientes características:

- 10 niños con pie plano
- 10 niños con pie valgo
- 10 niños con pie varo
- 5 niños con señas particulares interesantes, como pie obeso, dedos muy largos, etc.

Para lograr la autorización para la medición de niños, se extendieron cartas a los directivos escolares, acordando tiempos, fecha y descripción del evento a realizar, para contar con las facilidades de acceso a las instalaciones con los equipos de medición requeridos.

Por otro lado, se solicitó también a CIATEC, A.C., su apoyo tecnológico y personal, para llevar a cabo la evaluación mencionada. Se solicitó el equipo indispensable para ello, que constaba de:

- Báscula de pie
- Podoscopio
- *Scanfoot* 3D
- Computadora
- Equipo de ingenieros responsables del equipo y expertos en biomecánica.

Los datos recabados fueron los siguientes:

- 1- Edad
- 2- Peso
- 3- Estatura
- 4- Identificación visual del tipo de patología.
- 5- Digitalización 3D de ambos pies.
- 6- Dimensiones diversas de pie derecho e izquierdo.

Nota:

Todas las imágenes incluidas en este capítulo fueron tomadas en la Escuela Primaria No. 4, de León, Gto., el día 11 de Septiembre de 2009.

3.4 Procedimiento de Medición

El procedimiento se describe a continuación:

Inicialmente se piden datos generales a cada niño, con la finalidad de ubicarlo dentro de la población del presente estudio. Los datos primordiales son: Nombre, Edad, Peso, Estatura, Sexo, Grado escolar, Si se le ha diagnosticado alguna patología de pie previamente, Clasificación según observación, Grado de Patología, Observaciones. Se anexa una ficha en la que se ingresan toda la información que pudiera ser útil. (Ver Figura 54.)

MEDICION PIE INFANTIL		PACIENTE 1
Nombre:		
Edad:		
Peso:		
Estatura:		
Sexo:		
Clasificación de pie:		
Se le ha diagnosticado algun problema en pies?		
si	no	cual? _____
Clasificación de patología del pie sobre observacion:		
Plano		
Cavo		
Normal	<input type="checkbox"/>	
Grado:		
Ligero		
Mediano	<input type="checkbox"/>	
Grave:		
OBSERVACIONES:		

Fig. 54 Ficha muestra para medición de niño

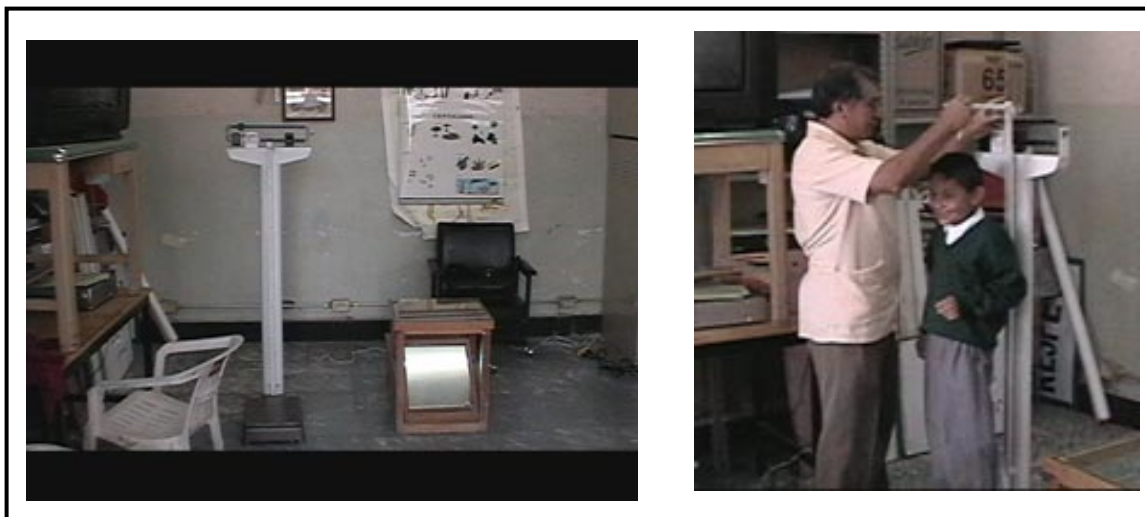


Fig. 55 Instrumentos para valoración general del niño

Con la ayuda de una báscula de pie, se tomaron datos de altura y peso de cada niño. (Ver Figura 55). Todos los datos recabados fueron vaciados su respectiva ficha personalizada.

Se le pide al niño se descalce y quite ambos calcetines de los pies. (Ver Figura 56.)



Fig. 56 Niños descalzándose.

Previamente a la prueba en el podoscopio y el *scanfoot*, se hace un examen visual a cada arco plantar, con el fin de catalogar y posteriormente cotejar los resultados arrojados por el análisis. Cada niño es catalogado en el segmento que aparenta ser visualmente, siendo estos:

- b) – Pie cavo – 12 niños
- c) _ Pie valgo - 12 niños
- d) – Pie varo – 9 niños

Con el podoscopio se analiza la planta del pie, con el fin de determinar el tipo de patología que presenta; determinar en su caso, si el niño cuenta con pie sano y con alguna patología. Esta fase del estudio está basado completamente en la observación y experiencia del médico tratante, en este caso, el Dr. Nicasio, quien determina en qué segmento debe ser catalogado cada niño. (Ver Figura 57).

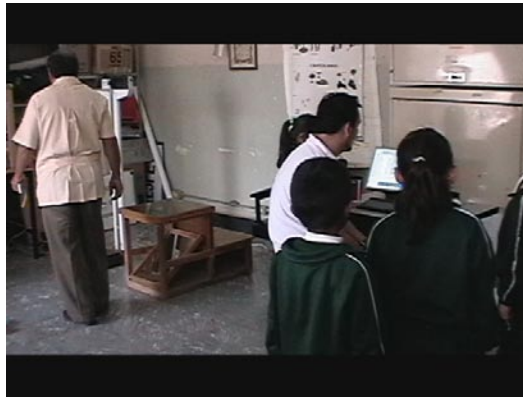


Fig. 57. Proceso de observación y peso del niño

La digitalización del pie se realiza a través de un scanner 3D, llamado *Footscan 3D* (Ver Figura 58). La digitalización del pie es una de las herramientas tecnológicas que nos pueden ayudar de manera más efectiva a lograr una medición muy eficaz.



Fig. 58 Scanner 3D / Scanfoot

La mayoría de los digitalizadores trabajan de manera similar: utilizan 8 cámaras y 4 emisores laser, que crean un plano, el plano laser recorre la longitud total del pie y la captura de la imagen digital se realiza en pocos segundos.



Fig. 59 Colocación de puntos opacos en pie

El niño debe estar en posición bipodal, con ambos pies desnudos. Previo a pasar al digitalizador, se le colocan unos puntos adheribles y opacos (marcas) en lugares estratégicos de la estructura ósea del pie: la cabeza del primer metatarsiano, cabeza del quinto metatarsiano, etc. (Ver Figura 59). Al momento de digitalizar, estas marcas opacas, no reflejan la luz del rayo laser, por lo que dejan marcas sensibles al software del digitalizador. Posteriormente deben descubrirse las piernas hasta la altura de la rodilla (Ver Figura 60) y colocar alternadamente cada pie dentro del área de lectura del digitalizador.

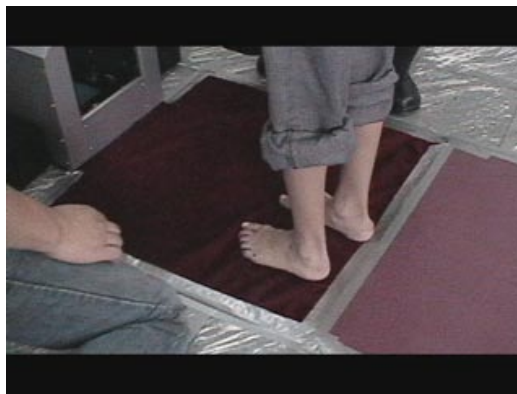


Fig. 60 Pies y piernas libres para la digitalización.

Se cubre de la luz con un lienzo negro, incluido en el scanner, para impedir la entrada de luz natural que genere distorsiones en la imagen digitalizada.(Ver Figura 61.) Es importante recomendar al niño el permanecer quieto durante el tiempo de digitalización, también por la óptima calidad de la información.

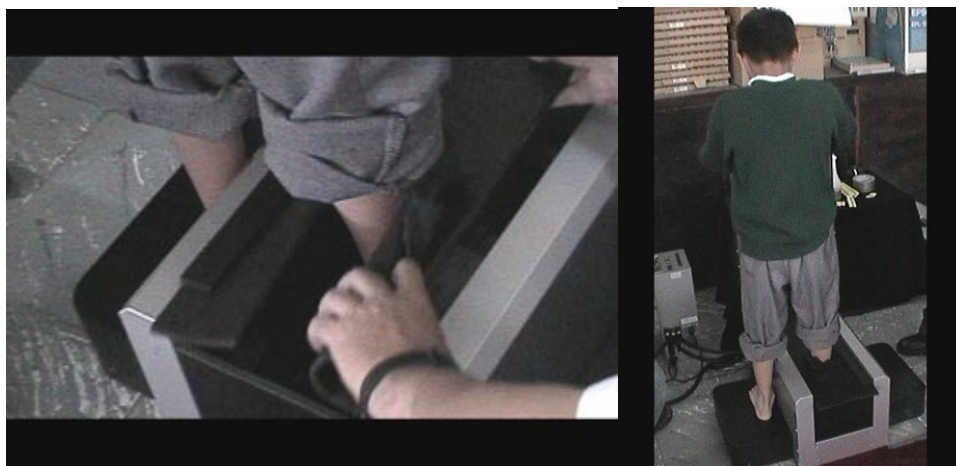


Fig. 61 Colocación del pie en área de lectura del digitalizador



Fig. 62 Digitalización de cada pie alternadamente

Se digitalizó cada pie (derecho e izquierdo) de cada niño, generando así 35 modelos tridimensionales para pie izquierdo y 35 para el derecho. (Ver Figura 62.)

Inmediatamente después de la digitalización, aparecen los datos en el monitor. (Ver Figura 63.) Estos, deben archivarlos apropiadamente y sistemáticamente para evitar confusiones o duplicación de datos.

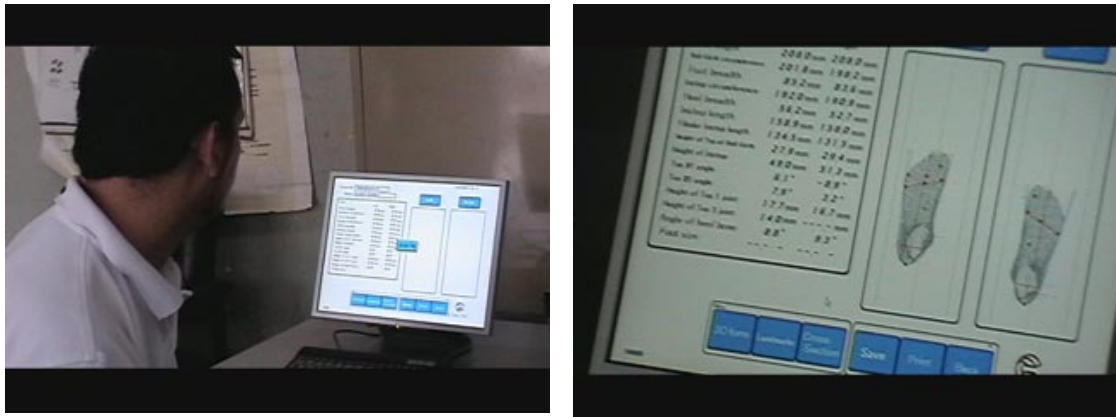


Fig. 63 Generación de modelo tridimensional en monitor

El manejo de los datos resulta de primordial importancia, dado que las características físicas de cada niño, como su talla, peso y estatura son relevantes para el seguimiento del tratamiento en cada uno de ellos.

En la siguiente tabla se muestra la relación de los individuos que se les realizó mediciones en este estudio.

TABLA 7 Relación de medición de niños digitalizados

BITACORA MEDICION PRIMARIA								
NOMBRE	EDAD	GRADO	SEXO	ALTURA	PESO	TIPO DE PIE	PLANO	GRADO
				cms	kgs.			
1 ALEXIS RODRIGUEZ GARCIA	7		MASC.	116.00	22.300	PIE CAVO		
2 LEONARDO MARTINEZ LUNA	7		MASC.	116.00	20.000	PLANO	3	
3 ALEJANDRO KATO GOMEZ	7		MASC.	125.00	26.000	PLANO	3	
4 MARIANA GONZALEZ GARCIA	7		FEM.	124.50	25.500	NORMAL		
5 MARIA JOSE LOPEZ CRESPO	7		FEM.	124.00	25.800	NORMAL		
6 MARIA FERNANDA JUAREZ CASTRO	7		FEM.	124.00	27.200	NORMAL		
7 JORGE SALMERÓN SANCHEZ	7	1 B	MASC.	119.50	24.000	PLANO	2	
8 AMERICA MARLENE ORTIZ GUERRERO	8	1 B	FEM.	119.50	34.500 SOBREPESO	PLANO	3	
9 ALEJANDRA ESTRADA GUTIERREZ	7		FEM.	120.50	23.700	CAVO		
10 MARIA GUADALUPE SALAS VILLALOBOS	7		FEM.	121.00	24.000	NORMAL		
11 MARIA FERNANDA RODRIGUEZ ALFARO	7		FEM.	114.00	19.500	CAVO		
12 LILIANA LIZETH MUÑOZ FIT	7		FEM.	121.00	24.500	PLANO	3	
13 SANTIAGO VIDAL JUAREZ MENDEZ	7		MASC.	120.00	22.500	NORMAL		
14 BRENDA PAOLA CHICO CASTRO	7	2 D	FEM.	121.00	25.400	NORMAL		
15 Odra MARIA ESPINOZA CERROS	7	2 D	FEM.	121.00	25.500	NORMAL		
16 MARIA PAULA ORTEGA CRUZ	7	2 D	FEM.	131.00	29.000	PLANO	3	
17 FAVIAN DE JESUS QUIRÓZ MARTINEZ	7	2 D	MASC.	123.00	25.400	PLANO	3	
18 DIANA YOLANDA ARENAS LUNA	7	2 D	FEM.	127.00	28.000	CAVO		
19 AXEL MARTINEZ MONTELONGO	7	2 C	MASC.	120.00	22.500	CAVO		
20 MIGUEL ANGEL HERNANDEZ ROMERO	7	2 C	MASC.	125.50	26.000	NORMAL		
21 JUAN DE DIOS MEDINA SANCHEZ	7	2 C	MASC.	121.00	21.000	PLANO	2	
22 ALMA SOFIA VALADÉZ MÉNDEZ	7	2 C	FEM.	119.00	21.500	PLANO	2	
23 MARIA FERNANDA CERRILLO FLORES	7	2 C	FEM.	122.50	22.500	CAVO		
24 BRENDA BECERRA BARRON	7	2 C	FEM.	118.50	21.500	PLANO	2	
25 ADRIANA ELIZABETH GODINEZ RAMIREZ	7	2 C	FEM.	124.00	28.200	CAVO		
26 ANGELICA JAZMIN FALCON CORONEL	8	2A	FEM.	118.50	21.500	CAVO		
27 ULISES SUAREZ CASTRO	7	1 E	MASC.	130.00	25.800	CAVO		
28 GUADALUPE ANGELICA FALCON CORONEL	8	2A	FEM.	118.00	21.300	CAVO		
29 KARLA FERNANDA GALINDO MENDEZ	7	2A	FEM.	112.00	22.500	CAVO		
30 JUAN ANTONIO MACÍAS FERNANDEZ	7	2A	MASC.	126.00	27.400	NORMAL		
31 JOSE CRUZ MARTINEZ GONZALEZ	7	2A	MASC.	123.00	26.000	NORMAL		
32 LUZ GUADALUPE CALDERA MORALES	7	2A	FEM.	118.00	27.500	PLANO	3	
33 LUIS FERNANDO BARCO TAPIA	7	2A	MASC.	123.00	34.200 SOBREPESO	PLANO	4	
34 GERARDO DANIEL UVALLE FERNANDEZ	7	2A	MASC.	118.00	20.700	NORMAL		
35 GLADYS ALISON SAUCEDO SAAVEDRA	7	2A	FEM.	119.00	23.300	CAVO		

3.5 Análisis de resultados

Ya que se tienen todos los datos tomados de nuestra muestra, y dada la naturaleza de la presente investigación, los resultados con los que se cuentan se catalogan en dos familias:

- **Numéricos:** Resultado de la aplicación de formulas específicas, sumatorias, gráficas y todo tipo de análisis numérico que lleve como finalidad el organizar y clasificar información.
- **Gráficos / Modelos tridimensionales:** Resultado de la aplicación de las Nuevas Tecnologías. Los archivos digitales enriquecen enormemente el proyecto, puesto que al poder manipularlas libremente, el alcance del estudio resulta ser casi ilimitado, para la creación de diversas soluciones para el proyecto, como por ejemplo, diseño de ortesis, de calzado, simulaciones, pudiendo llegar hasta el diseño de los moldes para la fabricación de plantillas, suelas, etc

A continuación se explicará detalladamente el método propuesto para medir el arco plantar:

3.5.1 Numéricos

Como se explicó previamente, los resultados de esta fase del proyecto, dieron la pauta para el diseño de la plantilla ideal para cada pie infantil. Es decir, de acuerdo a la dimensión del pie del individuo, utilizando la formulas sugeridas, se ubican los puntos de rehabilitación.

Ejemplo de resultados:

- **Punto “A”:** Con este factor se ubica el punto clave de la rehabilitación del arco longitudinal, correspondiente al hueso navicular. El cálculo de estos factores, se explica a detalle en el capítulo 2.4.3.

Largo de pie / 2.2432 = N en eje “x”

Largo total del pie= $201.38 / 2.2432 = 89.77$ Teniendo como resultado la coordenada en x del navicular.

- **Punto “B”:** Este factor determina el área de tratamiento requerido por el paciente de acuerdo al grado de patología.

$ANCHO\ PIE / 3 * 2 = B$ PARA PIE NORMAL A CAVO

$67.06 / 3 = 22.35 * 2 = 44.70\ mm.$ (Área donde se rehabilitará el arco plantar).

- **C - ALTURA DE ARCO PLANTAR:**

Será la altura del arco plantar de la plantilla diseñada y esta dependerá de la talla del pie del paciente; en este caso:

PUNTO A: 89.77

Cae dentro del Rango 2, por lo que la altura del arco plantar debe ser de 16 mm.

Aplicando las formulas correspondientes, se obtuvieron los datos contenidos en la siguiente tabla. (Ver Tabla. 8.)

TABLA 8. Resultados medición niños.

BITACORA MEDICION PRIMARIA	NOMBRE	EDAD	GRADO	SEXO	ALTURA cms	PESO kgs.	TIPO DE PIE	PLANO	GRADO	LARGO PIE IQZ. mm.	A - Rehabilitación arco longitudinal		ANCHO PIE IQZ.	B - Rehabilitación en arco transversal		ARCO INT. DER. factor= 1/3 del ancho	ARCO INT. DER. factor= 1/3 del ancho
											NAVIGULAR mm.	NAVIGULAR factor 2,2432		ANCHO PIE IQZ.	ANCHO PIE DER.		
1	ALEXIS RODRIGUEZ GARCIA	7		MASC.	116.00	22.300	PIE CAVO			201.38	111.48	186.51	103.24	75.2	25.07	75.4	25.13
2	LEONARDO MARTINEZ LUNA	7		MASC.	116.00	20.000	PLANO	3		190	84.70	190.6	84.97	74.1	24.70	74.7	24.90
3	ALEJANDRO KATO GOMEZ	7		MASC.	125.00	26.000	PLANO	3		203.9	90.90	204.5	91.16	80.5	26.83	81.5	27.17
4	MARIANA GONZALEZ GARCIA	7		FEM.	124.50	25.500	NORMAL			187.4	83.54	186.2	83.01	77.8	25.93	79	26.33
5	MARIA JOSE LOPEZ CHESPO	7		FEM.	124.00	25.800	NORMAL			183.9	81.98	186.1	82.96	75.1	25.03	76.6	25.53
6	MARIA FERNANDA JUAREZ CASTRO	7		FEM.	124.00	27.200	NORMAL			199.7	89.02	196	87.38	78.3	26.10	81.4	27.13
7	JORGE SALMERON SANCHEZ	7	1 B	MASC.	119.50	24.000	PLANO	2		196.6	87.64	192.8	85.95	76.4	25.47	78.9	26.30
8	AMERICA MARLENE ORTIZ GUERRERO	8	1 B	FEM.	119.50	34.500 sobrepeso	PLANO	3		195.6	88.98	201.2	89.69	79.3	26.43	79.2	26.40
9	ALEJANDRA ESTRADA GUTIERREZ	7		FEM.	120.50	23.700	CAVO			186.3	83.05	188.1	83.85	71.1	23.70	73.9	24.63
10	MARIA GUADALUPE SALAS VILLALOBOS	7		FEM.	121.00	24.000	NORMAL			191	85.16	189.3	84.39	76.9	25.63	76.5	26.50
11	MARIA FERNANDA RODRIGUEZ ALFARO	7		FEM.	114.00	19.500	CAVO			175.1	79.84	176	78.46	71.7	23.90	79.7	26.57
12	LILIANA LUETH MUÑOZ FIT	7		FEM.	121.00	24.500	PLANO	3		195.8	89.07	194.3	86.62	81	27.00	80.3	26.77
13	SANTIAGO VIDAL JUAREZ MENDEZ	7		MASC.	120.00	22.500	NORMAL			193.7	86.35	194.1	86.53	72.2	24.07	72.9	24.30
14	BRENDA PAOLA CHICO CASTRO	7	2 D	FEM.	121.00	25.400	NORMAL			206	91.83	196.6	87.64	77.3	25.77	77.1	26.70
15	ORSA MARIA ESPINOZA CERROS	7	2 D	FEM.	121.00	25.500	NORMAL			198.8	88.62	198.1	88.31	78.3	26.10	78	26.00
16	MARIA PAULA ORTEGA CRUZ	7	2 D	FEM.	131.00	29.000	PLANO	3		202.9	90.45	204.7	91.25	79.2	26.40	79.7	26.57
17	FABIAN DE JESUS QUIROZ MARTINEZ	7	2 D	MASC.	123.00	25.400	PLANO	3		199.7	89.02	198.3	88.40	81	27.00	80.4	26.80
18	DAIANA YOLANDA ARENAS LUNA	7	2 D	FEM.	127.00	28.000	CAVO			196.8	87.73	200.5	89.38	71.1	23.70	72.3	24.10
19	AXEL MARTINEZ MONTELONGO	7	2 C	MASC.	120.00	22.500	CAVO			193.6	86.31	195.1	86.97	74.3	24.77	75.8	25.27
20	MIGUEL ANGEL HERNANDEZ ROMERO	7	2 C	MASC.	125.50	26.000	NORMAL			185.1	84.30	193.2	86.13	73.4	24.47	72.5	24.17
21	JUAN DE DIOS MEDINA SANCHEZ	7	2 C	MASC.	121.00	21.000	PLANO	2		193.1	86.08	189.7	84.57	72	24.00	72.9	24.30
22	ALMA SOFIA VALADEZ MENDEZ	7	2 C	FEM.	119.00	21.500	PLANO	2		193.5	86.26	194.4	86.66	76.4	25.47	76.2	25.40
23	MARIA FERNANDA CERRILLO FLORES	7	2 C	FEM.	122.50	22.500	CAVO			194.8	86.84	193.5	86.26	77.5	25.83	77.9	26.97
24	BRENDA BECERRA BARRON	7	2 C	FEM.	118.50	21.500	PLANO	2		182.4	81.31	181.6	80.96	79.1	26.37	80.2	26.73
25	AURIMIA ELIZABETH GODINEZ RAMIREZ	7	2 C	FEM.	124.00	28.200	CAVO			193.8	86.39	196.3	87.51	80.6	26.87	80	26.67
26	ANGELICA JAZMIN FALCON CORONEL	8	2A	FEM.	118.50	21.500	CAVO			197.4	88.00	199	88.71	73.8	24.60	73.1	24.37
27	JULIES SUAREZ CASTRO	7	1 E	MASC.	130.00	25.800	CAVO			207.2	92.37	206.6	92.10	84.4	28.13	83.6	27.87
28	GUADALUPE ANGELICA FALCON CORONEL	8	2A	FEM.	118.00	21.300	CAVO			192.5	85.81	189.4	84.43	85	28.33	84.1	28.03
29	KARLA FERNANDA GALINDO MENDEZ	7	2A	FEM.	112.00	22.500	CAVO			179.5	80.02	180.3	80.38	81.4	27.13	81.8	27.27
30	JUAN ANTONIO MACIAS FERNANDEZ	7	2A	MASC.	126.00	27.400	NORMAL			205	91.39	211.1	94.11	79.4	26.47	79.1	26.37
31	JOSE CRUZ MARTINEZ GONZALEZ	7	2A	MASC.	123.00	26.000	NORMAL			191.9	85.55	196.1	87.42	72.3	24.10	73.6	24.53
32	LIZ GUADALUPE CALDERA MORALES	7	2A	FEM.	118.00	27.500	PLANO	3		192.6	85.86	192.1	85.64	77.9	25.97	78.5	26.17
33	LUIS FERNANDO BARCO TAPIA	7	2A	MASC.	123.00	34.200 sobrepeso	PLANO	4		194.1	86.53	196	87.38		0.00		0.00
34	GERARDO DANIEL UNALLE FERNANDEZ	7	2A	MASC.	118.00	20.700	NORMAL			182.3	85.73	190.5	82.4	82.6	27.47	83.6	27.87
35	GLADYS ALISON SAUCEDO SAABEDRA	7	2A	FEM.	119.00	23.300	CAVO			186.1	82.96	184.9	82.43	82.6	27.53	81.8	27.27

3.5.2 Gráficos / Modelos tridimensionales

Hoy se viven tiempos de acelerado crecimiento tecnológico y resulta casi imposible el poder realizar muchas de actividades tanto profesionales como personales, sin la intervención de computadoras, equipos y tecnología diversa. Aplica lo mismo en el caso del diseño industrial, donde el CAD (*Computer Aided Design*) y el CAM (*Computer Aided Manufacturing*) son herramientas indispensables en el satisfactorio desempeño de la profesión; tecnología y creatividad son un poderoso binomio. El CAD ha provisto a los diseñadores de múltiples herramientas informáticas para aplicar su uso en las actividades habituales de la profesión: bocetar, modelar en 2D y 3D, generación de planos, presentaciones, etc.

En la presente investigación, las nuevas tecnologías son el medio a través de las cuales se ha llegado a soluciones precisas. De otro modo, las prescripciones médicas podrían seguirse resumiendo a soluciones aleatorias basadas solo en la observación del médico, su criterio para prescribir plantillas y por si fuera poco, la habilidad del técnico para elaborarlas según la prescripción.

Siendo visionarios y aprovechando lo que los avances en tecnología, investigación y ciencia, se podrían tener soluciones de diseño útiles y vanguardistas para la medicina y la biomédica en este caso. A través de la Manufactura Asistida por Computadora CAM y aprovechando los modelos 3D generados en CAD, su posterior análisis y estudio, se ha podido generar la plantilla ideal para el pie con patología valorado.

Asimismo, a través del Digitalizado 3D, se obtiene un modelo matemático de una superficie a partir de la superficie real. También se le conoce como Ingeniería Inversa. La ingeniería inversa es el proceso por el que se obtiene un modelo en CAD 3D de una pieza, componente, conjunto o entorno, de la que no se tienen los planos, documentación o modelos CAD auxiliares; se obtiene partiendo de la pieza real, de la nube de puntos de su escaneado

Al digitalizar un objeto real, el escáner elabora una representación virtual y geométrica del mismo, generada por puntos y vectores en el espacio. Genera un modelo matemático, a partir del cual se puede replicar una pieza a detalle.

El modelo tridimensional generado a partir de cada pie de cada niño analizado, fue estudiado y transformado en diferentes tipos de software. En este caso particular, el escáner utilizado (Scanfoot) crea archivos con extensión .DXF (*Drawing Interchange Format*, o *Drawing Exchange Format*), que es un formato para archivos generados o compatibles por programas **CAD** (*Computer-aided design*).

Proceso:

Nuestro escáner 3d, al digitalizar cada pie del niño, generó archivos DXF que a la postre fueron trabajados tanto en AutoCAD®, como en Rhino.

La estructura de un pie humano es sumamente complicada pues absolutamente todas las partes del mismo, son curvas, al ser formas orgánicas.

La generación de modelos tridimensionales se da por triangulación, para la ubicación de los puntos en los ejes x, y, z. Dada la complejidad de los archivos, muchos de ellos incluyen de origen errores en su estructura; por ello, fue necesario revisarlos, cerrar huecos entre triángulos de las superficies, eliminar basura que se filtra en el archivo al digitalizar, posiblemente partículas de polvo dentro del escáner, o por movimientos involuntarios del niño al momento de digitalizar.

A partir de dichos modelos tridimensionales de los pies de los niños, se trabajó como se mencionó anteriormente con ellos en dos plataformas principales, AutoCAD® y Rhinoceros.

Las imágenes al estar generadas en malla (*wireframe*) dan la transparencia necesaria para estudiar intersecciones y/o diferencias entre diferentes archivos cuando estos se sobreponen uno con otro.

A continuación, en la Figura 64, se muestran imágenes tridimensionales de un pie plano grado 4, siendo este el grado más grave en su categoría.

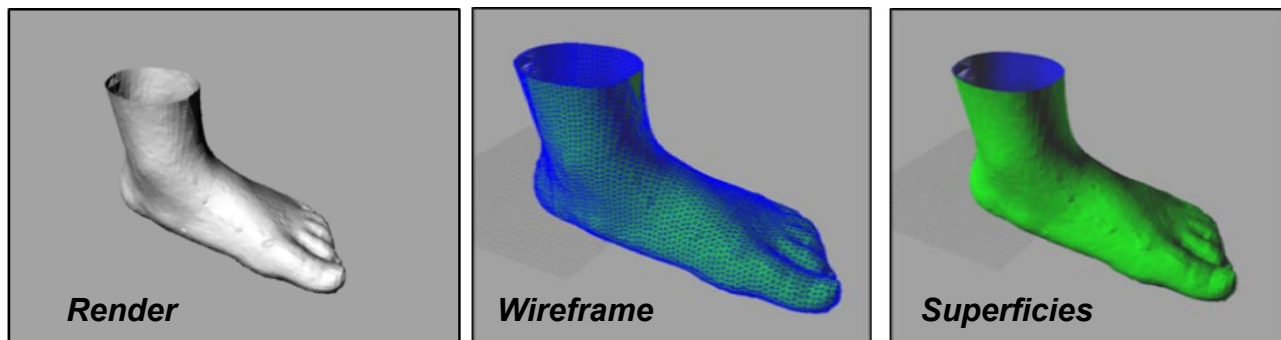


Fig. 64. Tres tipos de presentación de pie digitalizado
Imágenes creadas por la autora

Con el fin de obtener los resultados deseados para determinar el grado de patología de cada pie y poder generar el elemento correctivo adecuado para cada patología, el principal objetivo a cumplir fue el realizar comparativos de pies sanos contra pies “enfermos”, para determinar rangos diferenciales de conformación y así poder contar con parámetros donde ubicar al paciente de acuerdo al grado de su patología.

Esto se hizo seleccionando de entre los 70 modelos 3D, los más representativos de cada grupo: plano, valgo, varo y cavo. La selección se hizo teniendo muy presente la estatura, peso y talla de cada niño, para buscar similitudes físicas en cuanto a largo y ancho de pie. Los comparativos entre grupos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 Selección de individuos más representativos de cada patología. Por la autora.

TIPO DE PIE	EDAD	ALTURA	PESO	GÉNERO
Normal	7	125.5 cms.	26 kgs.	Masculino
Plano	7	123 cms.	34 kgs.	Masculino
Cavo	7	122.5 cms	22.5 kgs.	Femenino
Valgo	7	116 cms.	20 kgs.	Masculino

Con la finalidad de tener una referencia del punto a donde debemos llegar, siempre se incluyó en los comparativos un modelo de pie normal, con el cual poder hacer las diferenciaciones. En base a él se calcularon las diferencias para modificar con plantillas.

Se sobreponen modelos de pie normal (geometría en color gris), con el de uno plano (geometría en color verde) y se muestra de una manera muy gráfica el área a tratar que es el arco caído del pie plano. El arco a rehabilitar (en verde) queda por fuera del arco normal, como puede verse en la imagen 65.

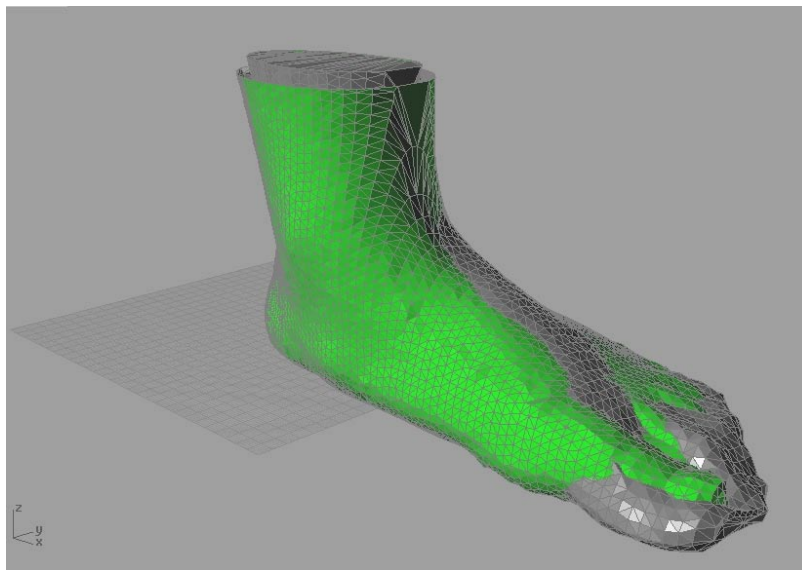


Fig. 65. Modelo tridimensional comparativo entre pie sano (gris) y plano (verde.)

Imagen creada por la autora en Rhinoceros®

En la figura 65 se observa el problema de arco, pero también se percibe la diferencia en altura entre los empeines que evidencia la estructura ósea del pie enfermo; al girar la imagen y contar con visión de 360 grados y se analizan a detalle las zonas problemáticas en cada pie.

Evidentemente un pie es como una huella digital, no es posible estandarizarlo, ni es la intención, pero podrían crearse librerías con imágenes ya prediseñadas como modelo a seguir.

La herencia es determinante en rasgos físicos del pie, por ejemplo en cuanto al ancho y alto del pie, formas de los dedos, forma de talón, etc. Se propone una mera guía a nivel estructural y dado que consideramos que la viabilidad es alta, debido a que el arco plantar es una de las zonas del pie que cuentan con menos rastros hereditarios. En la Figura 66 se muestra el análisis de la zona plantar.

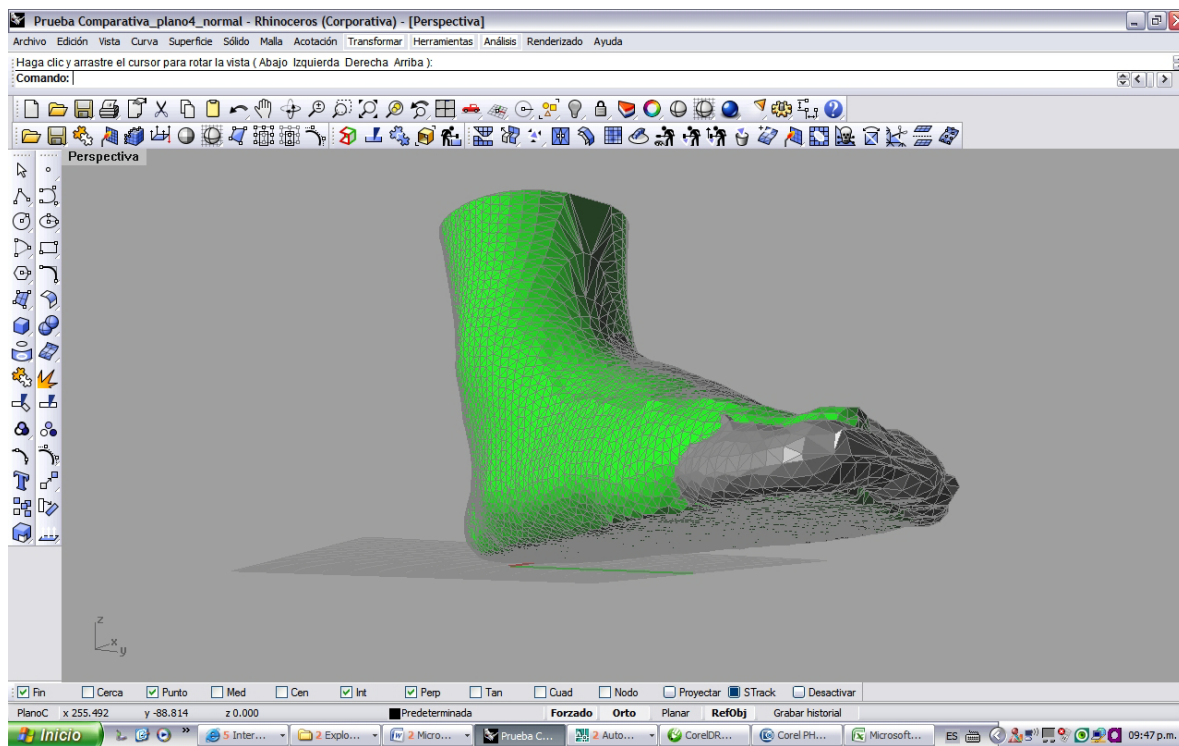


Fig. 66. Observación del comparativo en una vista inferior del arco plantar
Imagen creada por la autora en Rhinoceros®

Por medio de este proceso se puede visualizar claramente la brecha entre un pie sano y uno enfermo, clara y gráficamente. Puede ser a través de la transparencia de una estructura de alambre o en sólidos creando intersecciones y diferencias.

En la Figura 67, se muestra la integración de dos modelos, pie normal (gris) y pie plano (verde). En la Figura 68 se integran pie normal (rosa) y pie cavo (negro.)

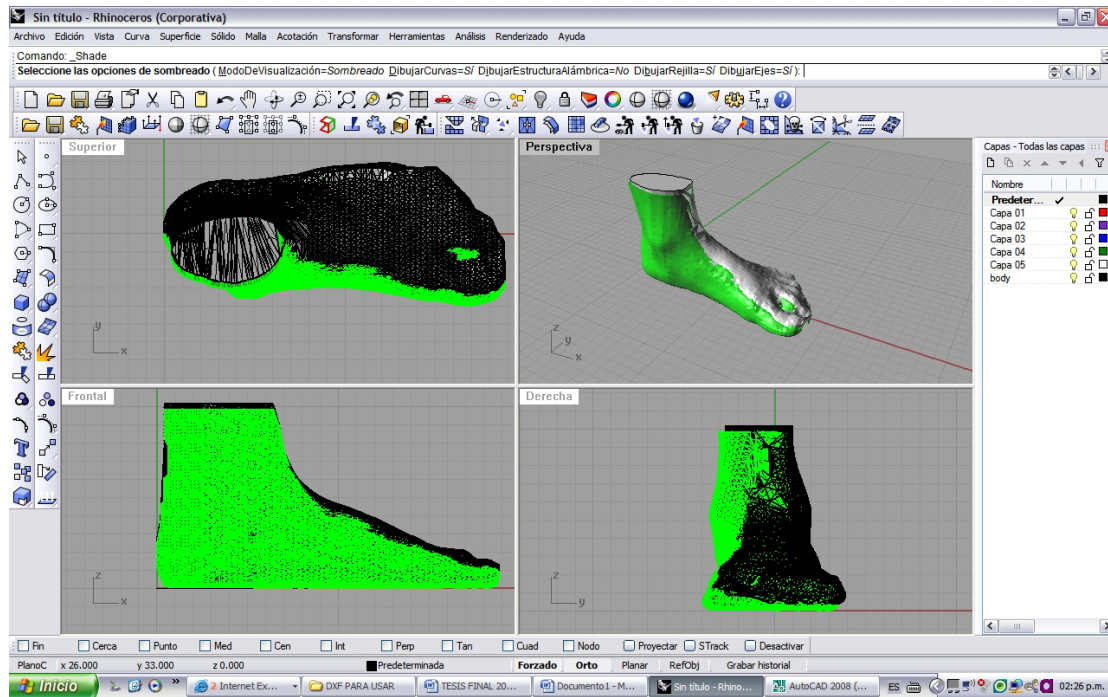


Fig. 67. Comparativo tridimensional entre pie plano y pie normal
Imagen creada por la autora en Rhinoceros®

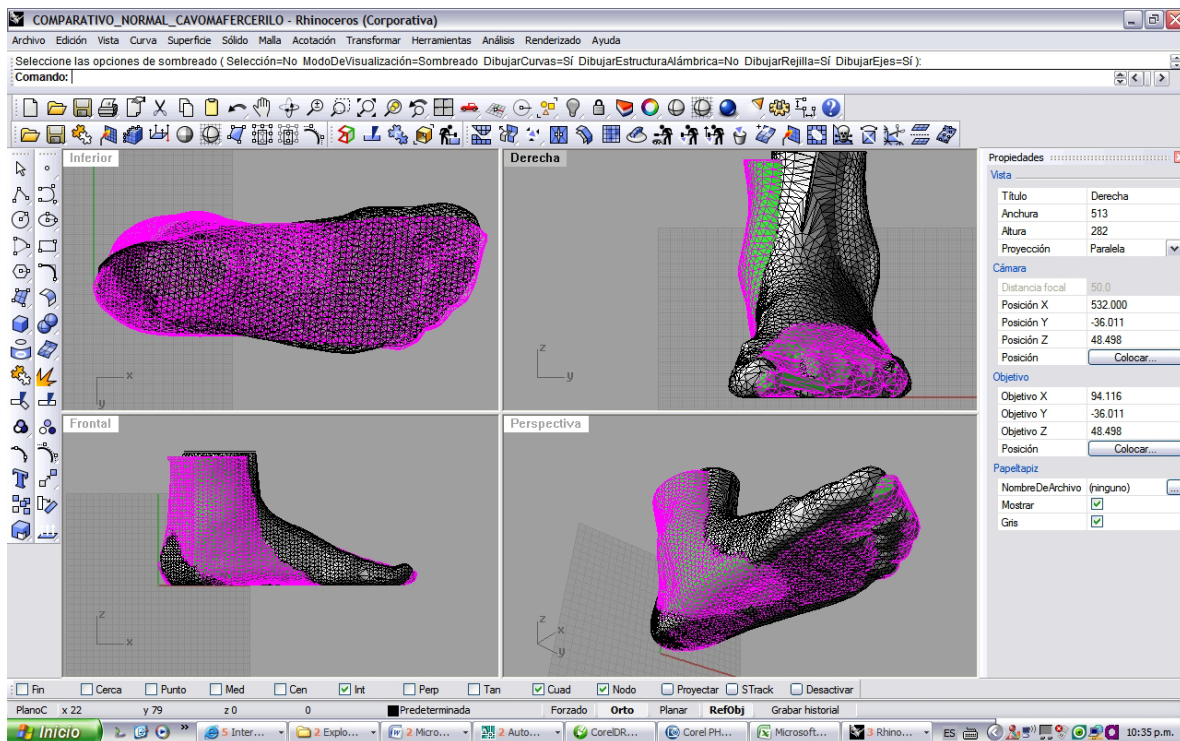


Fig. 68. Comparativo tridimensional entre pie plano y pie cavo
Imagen creada por la autora en Rhinoceros®

Una vez que se han unido los dos archivos, tanto el de pie sano como el del enfermo, se realiza una operación de sustracción entre los dos sólidos. Es decir, al sólido que representa el pie plano, se le “sustrae” el sólido que representa el pie sano. La zona de interés es solo la del arco plantar. Las demás zonas pueden ser eliminadas.

El resultado del procedimiento es la plantilla requerida por esa persona, diseñada específicamente para su propia patología.

CAPITULO CUATRO

Manufactura de plantilla a través de CAM

4.1. CAD-CAM / Nuevas Tecnologías–

Todo archivo generado en CAD, es susceptible de ser manufacturado, primeramente para realizar prototipos que permitan su análisis y en su caso correcciones posteriores, y en segunda, ser enviados directamente para su producción en serie.

En el presente caso, los prototipos de las plantillas generadas a través de CAD, se fabricaron bajo dos procesos CAD-CAM: la impresión 3D y a través de un router. Ambas técnicas, a pesar de sus diferencias en procesos y alcances, comparten la misma raíz.

4.1.1. Impresión 3D

Es una variante del Prototipado Rápido (*Rapid Prototyping*). Se lleva a cabo en una Impresora 3D, que es una máquina capaz de realizar "impresiones" de piezas en tres dimensiones, creando partes o maquetas volumétricas mediante un polvo y una resina que se depositan en un contenedor. Convierten archivos CAD en prototipos reales. Son muy adecuadas para la matricería, la prefabricación de piezas o componentes, por lo que resultan muy útiles en sectores como el manufacturero o el diseño industrial.⁶⁹ Las versiones comerciales construyen piezas a partir de los datos de un archivo CAD en formato .STL (monocromo) o .VRML (color). Ambas fabrican la pieza capa por capa, de inferior a superior, como una tomografía aditiva, hasta terminar la pieza.

Todos los modelos tridimensionales, se trabajaron directamente sobre el software Rhinoceros, desde los archivos .dxf originales. La plantilla ideal generada en CAD, fue exportada con extensión STL, de modo que fuera aceptada en el software del equipo de impresión.

⁶⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Impresora_3D

Como solución de fabricación real en el futuro para el usuario sería ideal. El *rapid prototyping* puede maquinar ABS, cera, elastómeros o polímeros. Se propone algún espumado rígido, como el Plastrozote. Esta definitivamente sería una fuerte posibilidad de impresión de plantilla real, con la condición de que se pudiera manufacturar espumados rígidos o semi-rígidos.

4.1.2. Router

La generación del modelo se obtiene a través de maquinar con un router de control numérico, un bloque de material que se va desbastando por capas, de superior a inferior; el paso del maquinado puede ser controlado para dar mayor calidad al modelo. A mayor número de pasos, mejor calidad del modelo. En este caso, el router no trabaja con algún tipo de plástico espumado o materiales semiflexibles, se podría generar el molde para la inyección o termoformado de la plantilla.

El proceso que se siguió fue el de un largo intercambio de archivos entre diferentes programas y extensiones para lograr concretar un resultado aceptable. A grandes rasgos el seguimiento que se hizo siguió este orden:

1. Se reciben en **AutoCAD®** los archivos .dxf originales, creados por el software del scanner 3D y se transforman en superficies. (Ver Figura 69.)

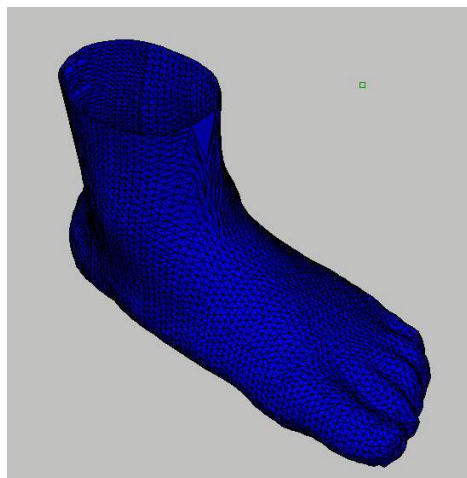
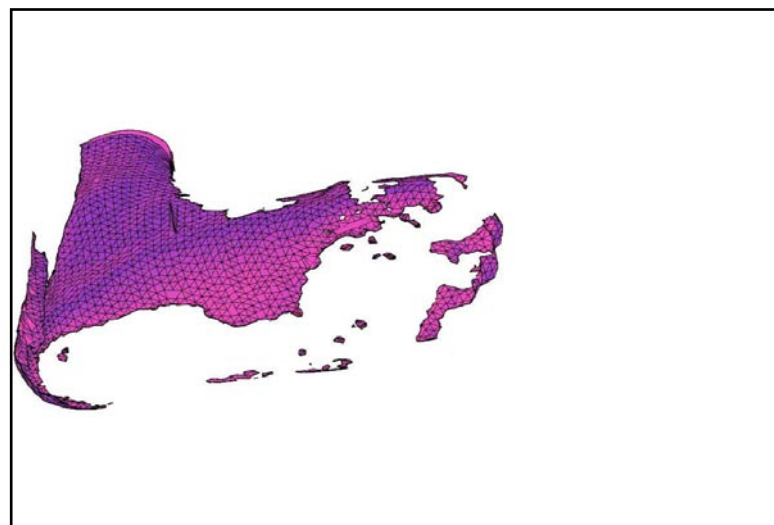
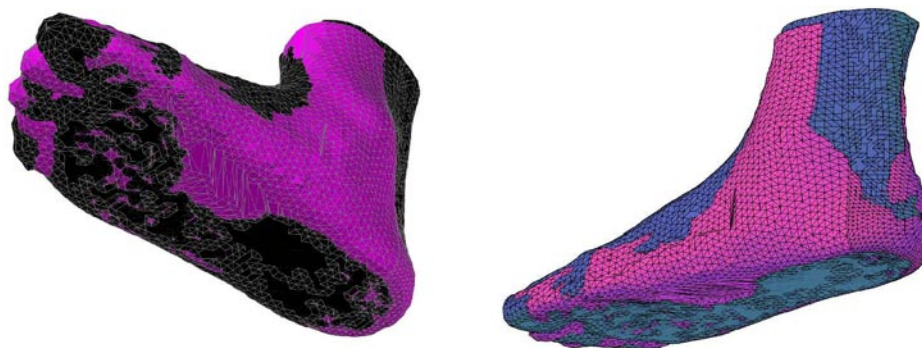


Fig. 69. Manejo de superficies en AutoCAD®
Imagen creada por la autora.

- 

Una vez generados los sólidos para cada pie, es cuando se realiza el empalme de un pie sano y uno con patología (Ver Figura 71.) La diferencia entre los sólidos, arroja como resultado la información requerida para la plantilla. (Ver Figura 72.)



108

3. Se importa de nuevo a AutoCAD® ya como sólidos y con extensión .dwg, que es el tipo de archivo necesario para generar maquinados en router y en *MasterCAM*® se desarrolla el diseño del necesario para la fabricación de la plantilla. Al momento de generar la diferencia entre el pie sano y el plano, se obtiene una superficie irregular de acotar por la enorme cantidad de superficies y vectores a manejar, como se puede observar en la Figura 72.

Con la finalidad de generar la plantilla, que es el objetivo final, el modelo tridimensional de ambos pies se “sumerge” 8 mms., dentro de un bloque para lograr la superficie de la huella. (Ver Figura 73.) Ambas huellas se fusionan y se obtiene la diferencia, lo cual da como resultado la plantilla final para la rehabilitación de ese niño con pie plano, en particular. Fig. 74.

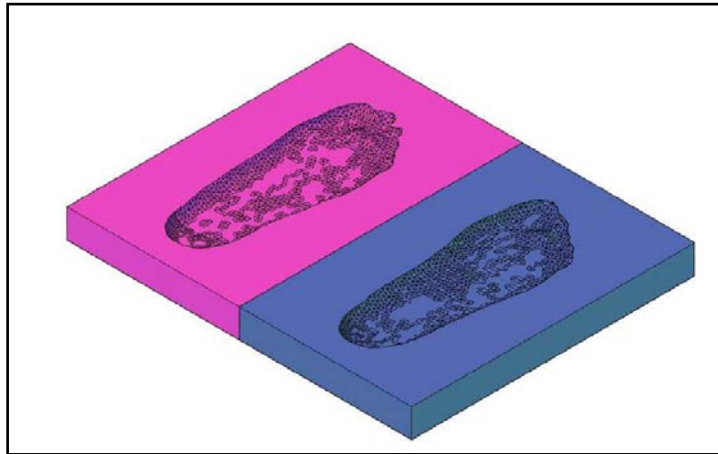


Fig. 73. Huella de pie plano y pie cavo sobre bloque de material.
Imagen creada por A. Solís con AutoCAD®

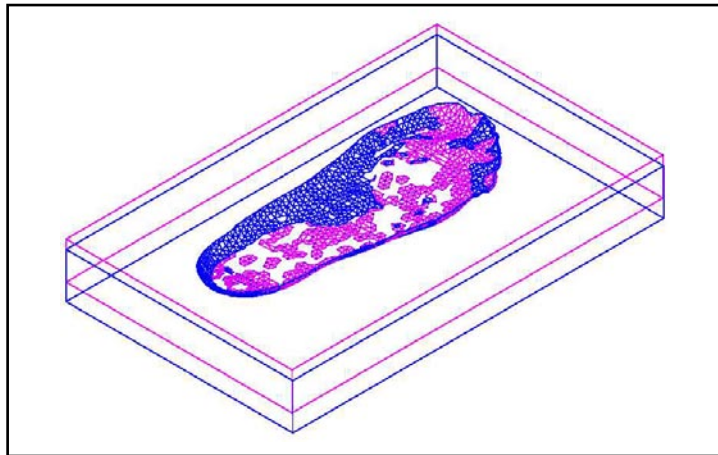


Fig. 74. Diferencia entre ambas huellas.
Imagen creada por A. Solís con AutoCAD®

4 Se importa el archivo a *MasterCAM®* de para el maquinado de la plantilla; Existe la posibilidad de maquinar la cavidad, como la que se muestra en la fig. 75.

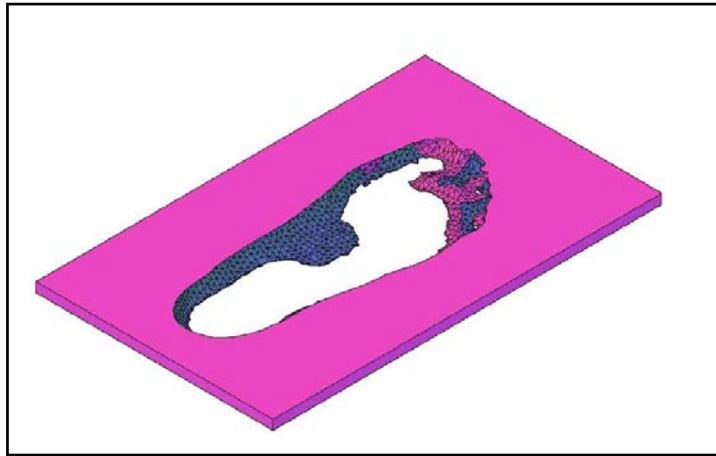


Fig. 75. Plantilla personalizada para niño con pie plano.
Imagen creada por A. Solís con AutoCAD®

Sin embargo aprovechando las herramientas del *MasterCAM®*, se invierte la geometría para maquinar una cavidad para vaciado de silicón y así generar la plantilla ideal ya en silicón. (Ver Figura 76.) Se muestra un corte transversal del molde, donde se observa el relieve y la cavidad a rellenar con el silicón. (Ver Figura 77.)

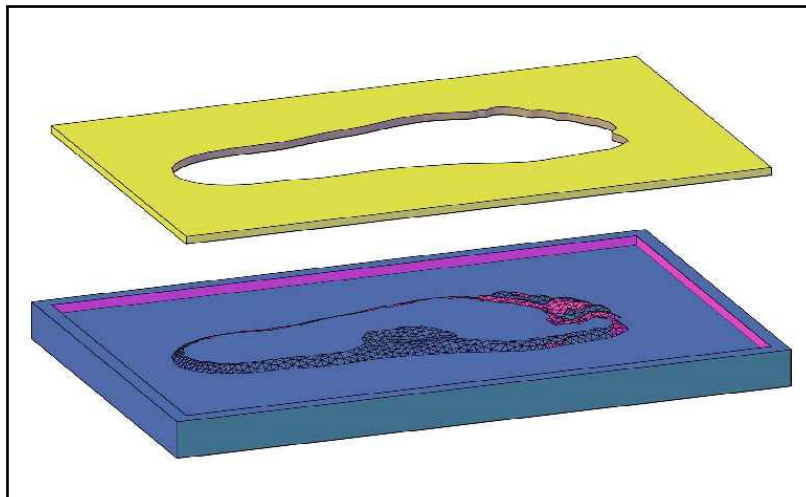


Fig. 76. Molde para fabricación de plantilla
Imagen creada por A. Solís con AutoCAD®

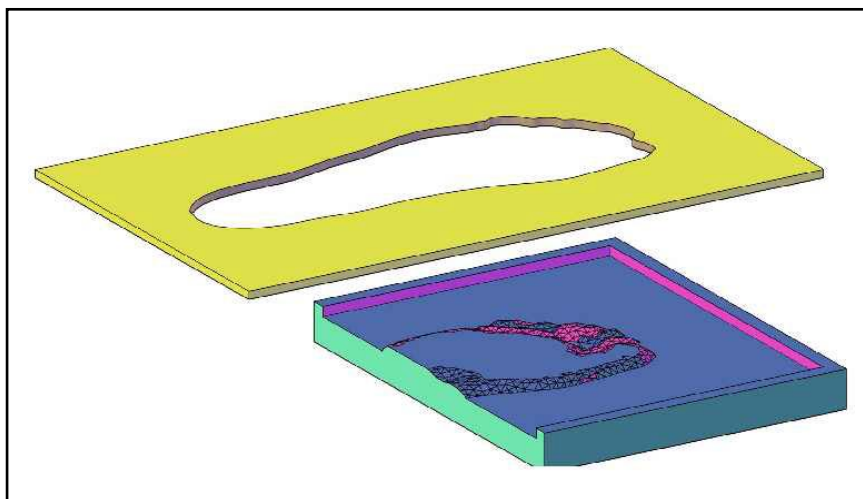


Fig. 77. Corte transversal del molde.
Imagen creada por A. Solís con AutoCAD®

4.2 Maquinado de Prototipo

Una vez contando con la geometría, desde *MasterCAM®*, se fabrica el molde para el moldeo del prototipo. (Ver Figura 78.)

Se usaron dos placas de acrílico. La primera de 18 mms., que se utilizó para maquinar la cavidad, y una segunda placa de 6 mm. que sirvió como contra del molde.

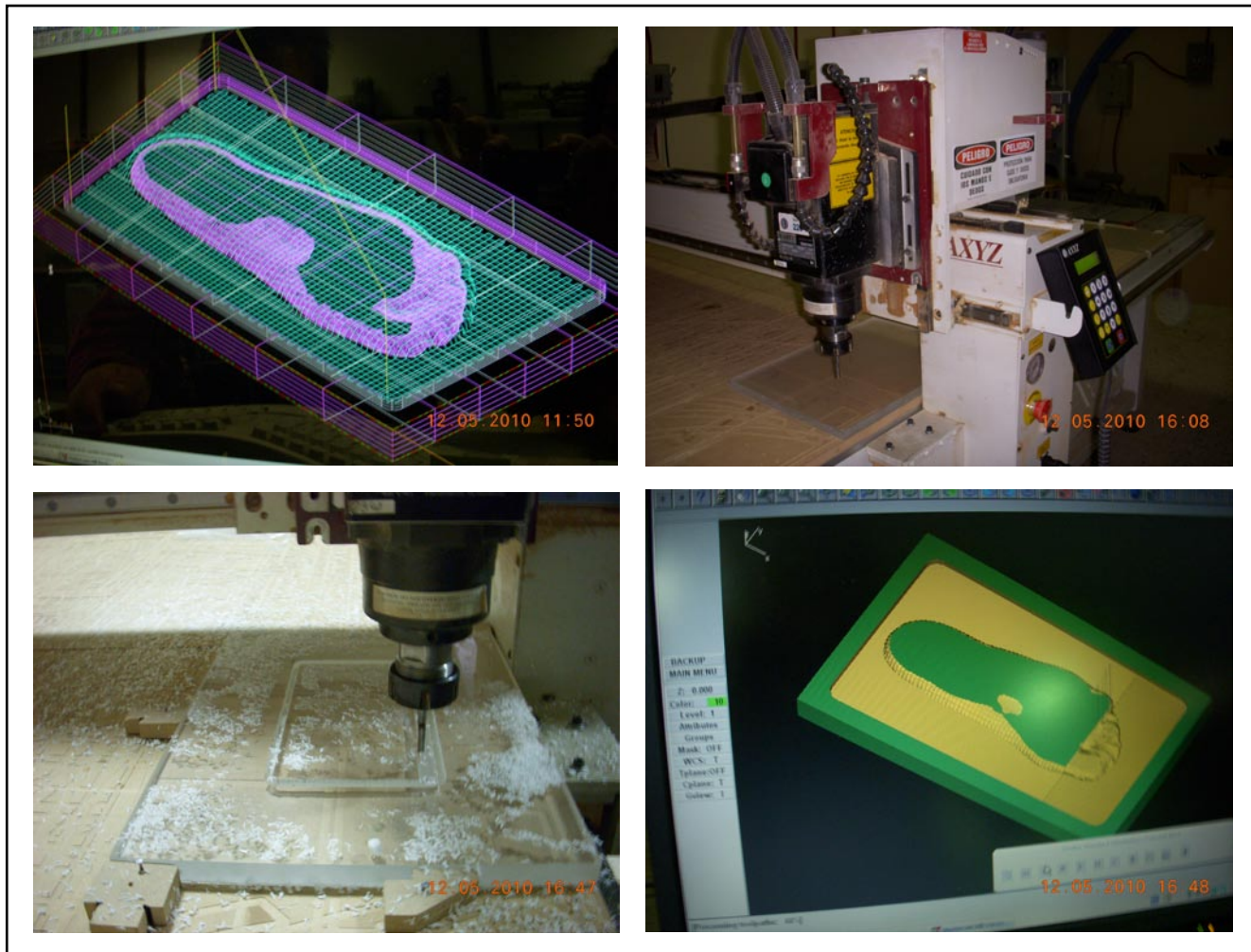


Fig. 78 Proceso de manufactura de molde para prototipo de plantilla para pie plano
Realizado en la UAM Azcapotzalco Laboratorio CAD CAM

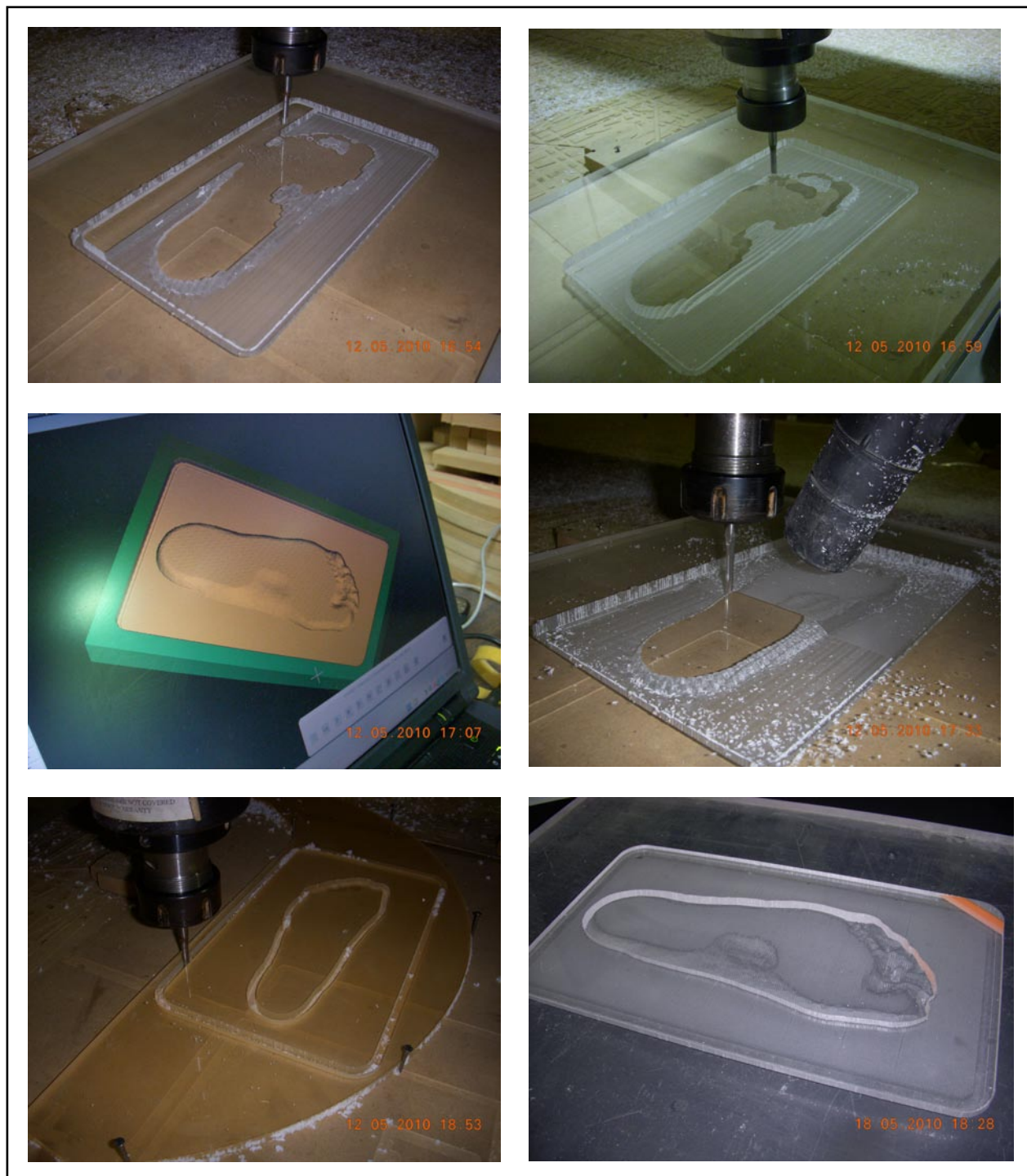


Fig. 79 Proceso de manufactura de molde para prototipo de plantilla para pie plano
Realizado en la UAM Azcapotzalco Laboratorio CAD CAM



Fig. 80 Molde generado en CAD CAM para vaciado de plantilla de silicón.



Fig. 81 Plantilla de silicón

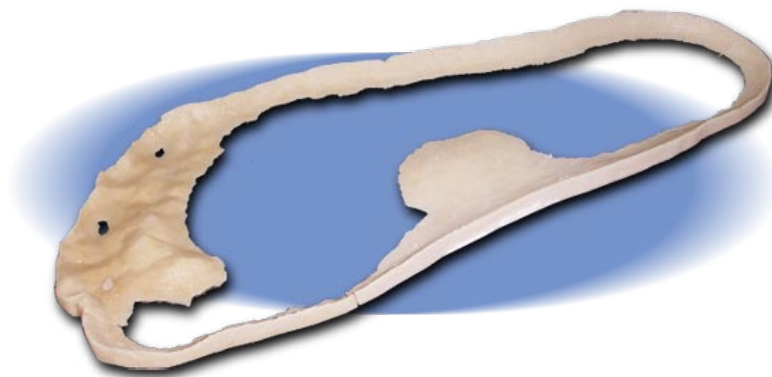


Fig. 81 Plantilla de silicón

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

Conclusiones y recomendaciones

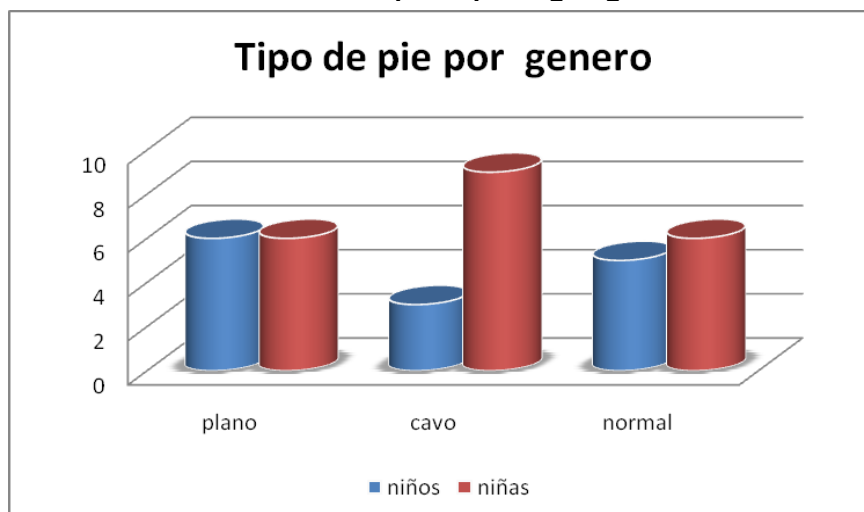
El pie plano es una patología presente en los niños en edad escolar, a nivel nacional, sin embargo, no es la única patología relevante, pues la estadística marca que está casi a la par que el pie cavo, como se muestra en la Tabla 10.

TABLA 10 Distribución de tipo de pie en la muestra tomada



En la grafica se muestra que de nuestra muestra total, se divide casi en 3 partes iguales pie plano, pie cavo y pie normal, siendo el de un ligero índice menor, el pie normal. Se demuestra de este modo, que el pie plano, ataca a 3 ó 4 individuos de cada 10. Asimismo, al diferenciar por género las patologías, resultan más niños que niñas con pie plano; por el contrario, resultan más niñas con pie cavo, que niños, como vemos en la Tabla 11.

TABLA 11. Distribución de tipo de pie según género.

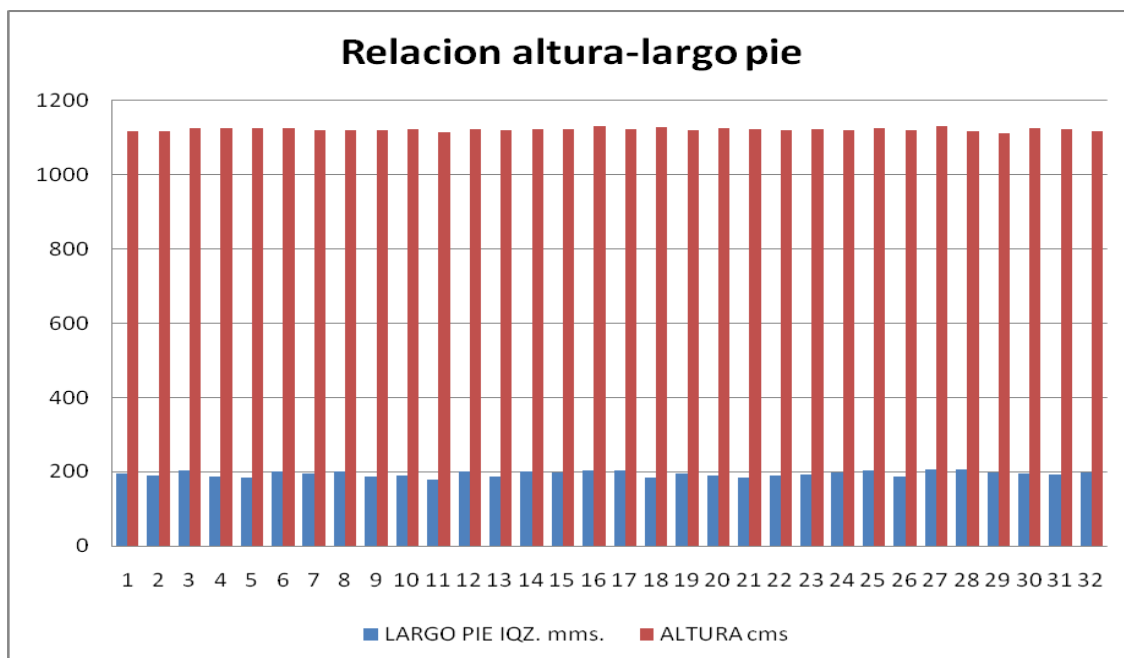


Existen más niños con pie cavo, que con pie plano, siendo a este ultimo a el que se le presta mucho más atención médica y familiar. Asimismo, resulta relevante que mayor cantidad de niñas, que de niños presentaron pie cavo.

Definitivamente el pie cavo se muestra como una patología poco conocida, de la que se habla poco pero que deriva en muchas otras consecuencias por un mal diagnostico y tratamiento, como lo son los juanetes, dedos en gatillo, severas callosidades en puntos de apoyo en la planta del pie.

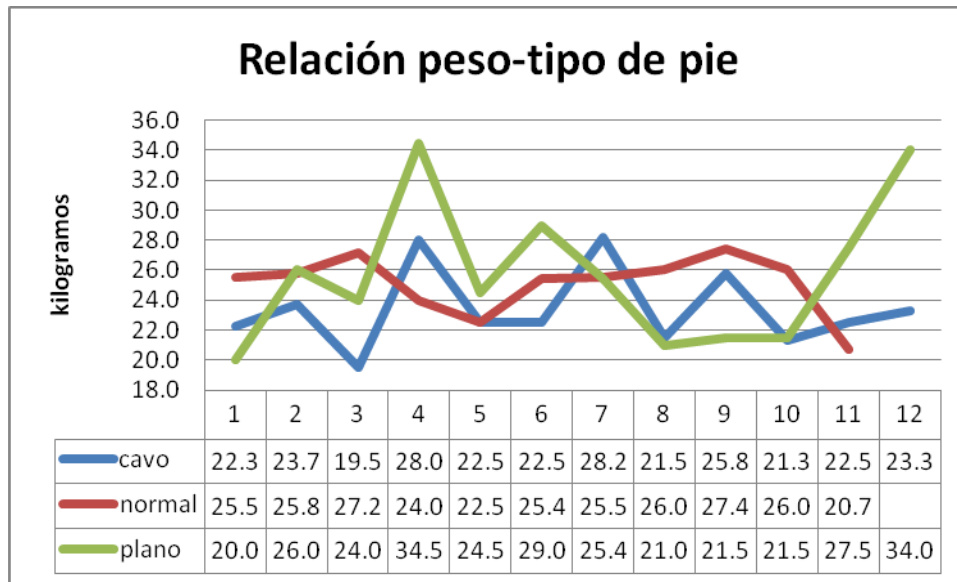
No existe relación alguna entre la altura del niño, el largo del pie y el índice de pie plano, por lo que las patologías son claramente aleatorias. Por ende resulta irrelevante pensar que las patologías van unidas a la estatura del infante o al largo de su pie, como llegó a exponer algún medico entrevistado. Ver TABLA 12.

TABLA 12 Relación estatura contra largo de pie.



El factor que sí es relevante en las patologías de pie, es el peso del niño. No necesariamente todos los niños con sobrepeso van a presentar pie plano, pero si se comprueba que tienen mayor tendencia, como se muestra en la fig. 82.

TABLA 13. Relación peso contra el tipo de pie

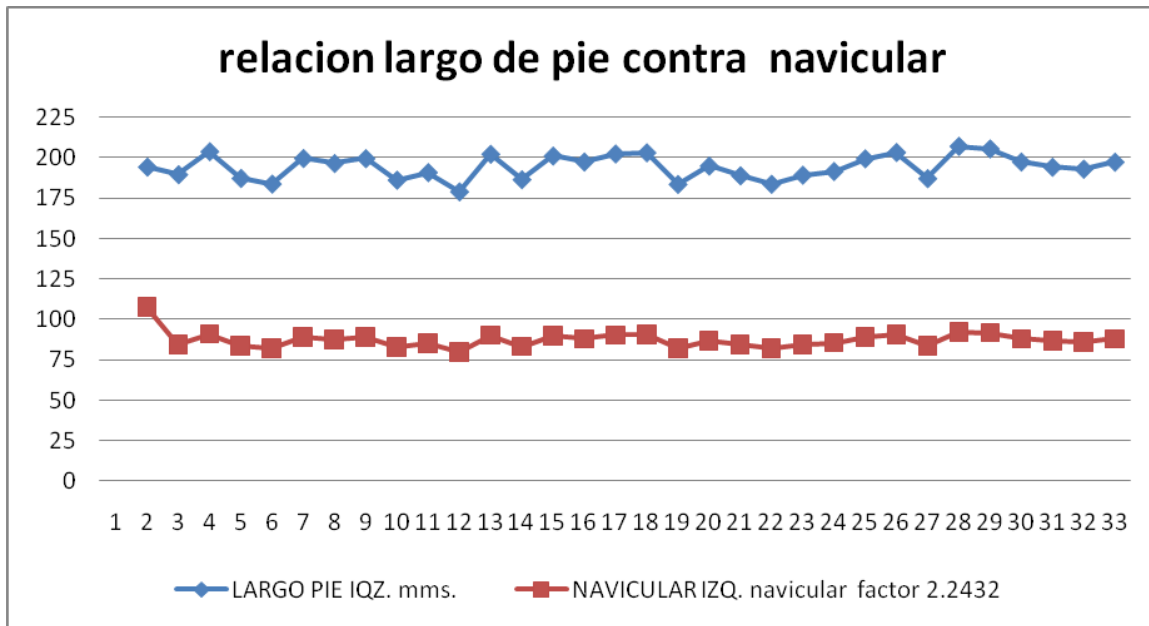


En esta grafica se aprecia como los tres casos de niños mas pesados, presentan pie plano. Por el contrario, el pie cavo es representado por los niños con el peso mas bajo y como se mencionó anteriormente, en niñas en su mayoría.

Otro dato importante que cabe mencionar es que el pie normal, esta graficado en niños que estan en la media de la grafica, es decir, con un peso adecuado a su edad y estatura.

Se concluye también que sí existe una relación entre el largo del pie y la posición del navicular en la estructura ósea del mismo. Como indica la fig. 83, al haber mayor longitud de pie, existe una mayor distancia del talón al navicular, lo que da la pauta a seguir esa tendencia para ubicar el punto más importante en la salud de un pie con pie plano.

TABLA 14. Relación largo de pie contra navicular



En cuanto a los objetivos de la investigación, se puede asegurar que sí existen los elementos para diagnosticar verazmente a un niño con patología de pie.

Existirán como en todos los casos, situaciones especiales en cuanto a su gravedad que requieran de cirugía, pero en la mayoría de los casos son problemáticas leves y temporales, que pueden resolverse de la siguiente manera:

- Impulso de actividades físicas en cualquiera que sea el caso, pues al fortalecer músculos, huesos y tendones, fisiológica y naturalmente, las estructuras del pie tienden a su correcta disposición.
- Ubicación del Navicular, para detectar el punto a rehabilitar del Arco Longitudinal, utilizando el sistema propuesto (PUNTO A)
- Ubicación de la zona de rehabilitación en el Arco Transversal, dependiendo de la patología presentada (PUNTO B).

- 1) Aplicación de altura de arco a rehabilitar en base al largo del pie. (PUNTO C); estas dimensiones son fáciles de obtener al analizar al infante, pues no se requiere de alguna tecnología especial.

En cuanto al diseño y fabricación de la plantilla ideal para el usuario, se concluye que CAD-CAM provee de muchas herramientas para solucionar el problema, sin embargo sería interesante el iniciar el proceso con archivos de una extensión diferente a la dxf, dado que su manipulación inicial fue muy complejo.

Con este estudio y a través de toda la información expuesta, se concluye que:
La hipótesis sí se cumple debido a que:

Es posible a través de la localización de puntos estratégicos en la estructura ósea del infante, sugerir una rehabilitación a través de plantilla generada con nuevas tecnologías.

Resulta relevante la información tomada de cada niño. Además de solucionar el problema presente, es posible visualizar un tratamiento a largo plazo, donde el niño continúe asistiendo a revisiones periódicas y así lograr una eficiencia en la solución de diseño.

El sistema propuesto es de muy sencillo uso, por lo que no se requiere de equipo especial para la toma de medidas.

Se determina que el problema es resuelto, dado que es totalmente viable generar información paramétrica del pie humano y en base a ello realizar mediciones, ajustes y rutas de solución a cada patología.

Se recomienda para investigaciones futuras:

Debería ampliarse el numero de muestra de niños estudiados para tener un mayor rango de datos a analizar.

Se recomienda medir el pie del niño, por el mismo sistema del digitalizador 3D, pero sin carga; es decir, el niño debiera estar sentado. De este modo se obtendría información muy valiosa respecto a la elasticidad de los arcos del pie con y sin carga.

Sería muy util hacer estudios de barapodometría, pues asi se adquieren datos dinámicos, información de que se carece en el presente estudio.

Sería de gran interés el desarrollar el programa que administrara los modelos tridimensionales de pie enfermo con la finalidad de comparar y adaptar a modelos ya previamente trabajados y archivados en un banco de datos de “pies sanos”; evidentemente para llegar a ello se requerirían modelos geometricos de varias tallas de pie; para su uso, se buscaría la geomtría mas adecuada de acuerdo a la edad y talla de cada niño. Sin duda la generación de dicho programa ser redituable.

Para solucion de la manufactura de la plantilla, se recomienda la impresión en 3D, mediante algun equipo y tecnología capaz de manufacturar espumados o algun polímero elástico, para agragar confort a las plantillas.

Definitivamente el proceso con el cual se fabricó el prototipo en esta investigacion, no seria el mas adecuado, pues no seria redituable fabricar un molde acrílico por paciente. El metodo de diagnóstico, asi como el manejo de las geometrias tridimensionales, son lo que en conjunto dan una solucion adecuada al caso. La solucion estaría en maquinar directamente del modelo 3D a una interfase que procese la plantilla en termoplastico, silicon o algun espumado.

El campo de la biomédica es area fértil para el diseñador, puesto que posee muchos requerimientos por cumplir, serias problemáticas y pocas propuestas de diseño; desafortunadamente es un campo de batalla también dado los dogmas médicos existentes. Sin embargo, poco a poco deberá germinar la semilla del cambio.

Por ultimo, afirmamos que las Nuevas Tecnologías como herramienta del ser humano en estos días, pueden simplificar situaciones de salud, con la correcta orientación del problema.

En el caso de la presente investigación, se trata de situaciones de salud “ligeras” como lo es el pie plano, pero el alcance de este proceso puede llegar a ser el de prótesis personalizadas y altamente especializadas, implantes, cuya única manera de ser fabricado es a través de CAD-CAM y toda la creatividad necesaria.

CAPITULO 10.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. AMEERSIN LUSIMON, RAVINDRA, MING ZHANG. *3D foot shape generation from 2D information*. Ergonomics. Vol. 48, No. 6. Mayo 2005.
2. ARIZMENDI LIRA, ADALID, PASTRANA EDUARDO. *Prevalencia de pie plano en niños de Morelia*. Revista Mexicana de Pediatría. Vol. 71-2. 66-69. 2004.
3. ARYE ROSEN, Ph D., HAREL D. ROSEN, M.D. *New Frontiers in Medical Device Technology*. Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc. Canada. 1995.
4. B. MIRALLES. *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Instituto Biomecanico de Valencia. Elsevier-Masson. 2001.
5. BARRANCO MARTINEZ, L.F. *Pie zambo*. Madrid. 2006.
6. BAUTISTA CORREA, FANNY. Tesis para obtener titulo de Ingeniería en Biomédica. *Aparato mecánico para un tratamiento del pie Equino*. IPN. UPIITA. 2004.
7. CANANAGH PR, RODGERS MM: *The Arch Index: a useful measure from footprint*. J Biomech 20: 457. 1987.
8. CHU WE, LEE SH. *The use of arch index to characterize arch height: a digital image processing approach*. IEEE Tras Blomed Eng. 42: 1088. 1995.
9. CHUINARD, G. OLLERENSHAW, L. *Desequilibrio de las musculaturas intrínsecas y extrínsecas del pie*. Illinois, EE UU. 1973.
10. D.R. TOLLAFIELD, J.C. Dagnall. *Historical perspective. Clinical Skills in treating the foot*. Pag. 12-34. Churchill Livingstone. 1997.

11. DEUTSCHMANN SYLVIA, ZEC PETER. *Life Science Design 2006. Report on conference and concepts award*. Red Dot edition. London. 2006.
12. FORRIOL F. PASCUAL: *Footprint analysis between three and seventeen years of age*. Foot ankle 11: 101. 1990.
13. FREYCHAT P. *Relationships between rearfoot and forefoot orientation and ground reaction forces during running*. Med Sct Sports Exer. 28: 225, 1996.
14. HAWES MR, NACHBAUER W, SOVAK D.: *Footprint parameters as a measure of arch height*. Foot Ankle. 13-22, 1992.
15. HERNANDEZ CORVO, R., *Morfología funcional deportiva: sistema locomotor*. Vol. 005858Q. 1989, Barcelona: Paidotribo.
16. HERNANDEZ GUERRA, R.H. (2006) *Prevalencia del pie plano en niños y niñas en las edades de 9 a 12 años*. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.
17. HOHMANN Georg Dr. *PIE Y PIERNA*. Edit. Labor S.A. Buenos Aires. (1949).
18. HOHMANN, George. Traducción, VIDAL JIMENO. *Pie y pierna: sus afecciones y su tratamiento*. Edit. Labor S.A. Buenos Aires. 1949.
19. INSTITUTO DE BIOMECANICA DE VALENCIA. *Guía de Recomendaciones para el Diseño de Calzado*. Madrid, España. 2000.
20. INSTITUTO DE BIOMECAÀNICA DE VALENCIA. *Biomecánica de la Marcha humana normal y patológica*. Madrid, España. 2001.
21. IÑARRITU A, *Pie plano, in pac mgi*. 1997: México.
22. IRWIN LW: *A study of the tendency of schol children to develop flat-footness*. Res Q 8:46, 1937.

23. J.R. EBRI. *El pie infantil: crecimiento y desarrollo*. Pediatría Integral 2002; 6(5):431-452.
24. JONSON SR. *Intraexaminer reliability and mean values for skeletal measures en healthy naval shipmen*. J Orthop Sports Phys Ther 25: 253. 1997.
25. JUNG K: *Women in long distance running*. Ann Sports Med. 1: 17. 1982.
26. LOVELL, W., WINTER R. B. *Ortopedia Pediátrica*. 2ª. Edición. Buenos Aires. Pag. 68. 1988.
27. MALDONADO VEGA, MARIA. *El calzado para diabéticos en México*. Editorial Trillas – CIATEC. México. 2006.
28. Centro de Investigación y Asesora Tecnológica en Cuero y Calzado, AC. *Manual del Calzado*. CONACYT, México, 2003.
29. MARAÑÓN Y POSADILLO, Gregorio. *Estados prediabéticos* (1927).
30. McCRORY JL: *Arch index as a predictor of arch height*. The foot 7: 147. 2004.
31. NEGRÍN PEREZ, R. *El pie, su importancia en la función de apoyo y su relación con la actividad física*. Julio 2001
32. NORKIN CC, LEVANGIE PK: *Joint Structure and Function*. FA Davis, Philadelphia, 1983.
33. ÖBERG P.A., TOGAWA TATSUO, SPELMAN FRANCIS A. *Sensors in Medicine and Health Care*. Volume 3. Sensors applications. Wyley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, Alemania. 2004.
34. R.H. HERNANDEZ GUERRA. *Prevalencia del pie plano en niños y niñas en edades de 9 a 12 años*. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Fisica y del Deporte. No. 23. 2006

35. REDMOND AC: *Development and validation of a novel rating system for scoring foot posture*. Clin. Biomech. 21: 89. 2001.
36. REVISTA MEXICANA DE PEDIATRIA. Artículo: *Prevalencia de pie plano en niños de Morelia*. Volumen 71. Numero 2. Abril 2004. Sociedad Mexicana de Pediatría AC.
37. SAMMARGO GJ: *Rehabilitation of the Foot and Ankle*, Mosby-Year Book Inc., St. Louis. 1995.
38. SCHWARTZ L, BRITTEN RH: *Studies in Physical development and posture*. US Government Printing Office, Washington D.C. 1982.
39. SHANG TY, LEE SH. *Evaluating different footprint parameters as a predictor of arch height*. IEEE Eng Med Biol Mag. 17: 62, 1998.
40. SIMKIN A. LEICHTER I.: *Combined effect of foot arch structure and an orthotic device on stress fractures*. Foot Ankle. 10: 25, 1989.
41. SMITH LS, CLARKE TE: *The effects of soft and semi-rigid orthoses upon rearfoot movement in running*. JAPMA 76: 227. 1986.
42. SONG J, HILLSTROM HJ. *Foot type biomechanics: comparison of planus and rectus foot types*. JAPMA 86.16,1996.
43. STAHELI LT, CHEW DE, CORBETT M. *The longitudinal arch: a survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults*. J Bone Joint Surg Am. 69: 426. 1987.
44. STAHELI, LYNN T. (1950), *Ortopedia Pediátrica*, [Marban Libros](#).
45. T., Z.-E., *The lax juvenile flexible flat-foot-disease or normal variant*. 1995.
46. VAZQUEZ VELA, GONZALO. *Deformidades del pie*. Tratamiento Conservador. Editorial Limusa. México. 1987.

47. VILLA MORENO, ADRIANA. *Consideraciones para el análisis de la marcha humana.* Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. Revista Ingenieria Biomédica. Vol. 2, Num. 3, Enero-Junio 2008. Pags 16-26. Medellín, Colombia.
48. VINICOMBE A, RASPOVIC A. MENZ: *Reliability of navicular displacement measurement as a clinical indicator of foot posture.* JAPMA. 91: 262, 2001.
49. WILLIAMS DS: *Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch.* Phys Ther, 80:864, 2000.
50. WINTER, ROBERT B. *Ortopedia Pediátrica.* Edit. Medica Panamericana. Buenos Aires. (1988).
51. ZAMUDIO LEONARDO. *Manual de Zapatos Ortopédicos.* Ediciones Científicas, La Prensa Medica Mexicana SA de CV. México. 3ª. Edición. 1995.

9.1 Fuentes de Internet:

<http://www.wysong.net/PDFs/insoles.pdf>

<http://www.colegiodepodiatría.com/index.htm>. Investigación del Instituto de Investigación y Educación Superior A.C. Colegio de Podiatría de Monterrey.

<http://podiatry.curtin.edu.au/profess.html#asia>

http://www.healthycomputing.com/articles/truth_about_ergonomic_products.htm

<http://consultas.cuba.cu/consultas.php?ini=p&ord=14>

<http://www.footphysicians.com/espanol/pie>

<http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/mvi.html>

<http://www.efdeportes.com/efd38/pie1.htm>.

http://podiatry.temple.edu/gaitlab/facilities/arch_ht.html

<http://www.scribd.com/doc/21329796/El-Estudio-de-La-Marcha>

<http://www.footwearspecialties.com/news1.htm>

http://es.wikipedia.org/wiki/Impresora_3D

<http://www.podologiaepm.edu.mx/html/historia.html>

http://smo.edu.mx/centro/historia_mexico_cuerpo.php. Pagina web de la Sociedad Mexicana de Ortopedia.

<http://fox.presidencia.gob.mx/buenasnoticias/?contenido=8748&pagina=339>

<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista23/artpieplano.htm>

<http://www.footphysicians.com/espanol/pie-plano-pedi%C3%A1trico.htm>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Pie>

http://www.pediatraldia.cl/pie_cavo.htm

<http://www.footphysicians.com/espanol/pie>

<http://www.footphysicians.com/espanol/pie>

http://www.pediatraldia.cl/pie_cavo.htm

<http://www.ergoweb.com/>

http://www.working-well.org/other_guideln.html

<http://www.medicine-inmotion.com/>

<http://www.buildings.com/Articles/detailBuildings.asp?ArticleID=3083>

<http://www.podiatrists.org/visitors/foothhealth/espanol/orthotics/>

<http://www.podologiadeportiva.com/0603calzado.htm>

<http://www.rae.es/rae.html>

GLOSARIO

- **Anteversión:** Deslizamiento hacia delante de articulaciones, como el hombro o el fémur, lo que deriva en una rotación interna de la articulación.
- **Contraforte:** Se denomina contraforte o contrafuerte a una lámina de material rígido situado entre el tejido de refuerzo del talón y el forro. Los materiales utilizados habitualmente en los contrafortes suelen ser termoplásticos del tipo PVC, aunque han sido utilizados materiales muy diversos como tela, cuero, cartón, etc. Asegura el talón a la zapatilla y evita el movimiento excesivo de la articulación del tobillo. Debe sujetar el pie en el movimiento de elevación del talón.
- **Enfranque:** Parte mas estrecha de la suela del calzado, entre la planta y el tacón.
- **Etiología:** Estudio sobre las causas de las enfermedades.
- **Fuerzas evertoras:** Fuerzas que permiten la rotación del pie hacia los lados.
- **Goniómetro:** Un goniómetro es un instrumento de medición con forma de semicírculo o círculo graduado en 180° o 360°, utilizado para medir o construir ángulos.
- **Ortesis:** También conocidas como “órtosis”, son elementos que se insertan en los zapatos para corregir formas de caminar anormales o irregulares. No son sólo plantillas para elevar el puente o arco del pie, aunque hay quien usa el término “*arch support*” (soporte para el arco del pie) para describir las ortesis, y quizá sea ese término el que mejor ayude a entender lo que son. Cumplen funciones que hacen más cómodo y eficiente caminar, correr y estar de pie, cambiando ligeramente los ángulos en los que el pie golpea la superficie por la que camina o corre.
- **Podoscopio:** Caja estructurada, con vidrios, espejos y la iluminación adecuada, donde el paciente se coloca en bipedestación, permitiendo así estudiar claramente los arcos plantares en carga.

- **Anamnesis:** Término médico que refiere al conjunto de los datos clínicos relevantes y otros del historial de un paciente. Representación o traída a la memoria de algo pasado).
- **Reductibilidad:** Grado de rehabilitación con que cuenta un sistema.

ANEXO

FICHAS CON DIMENSIONES Y MODELO 3D

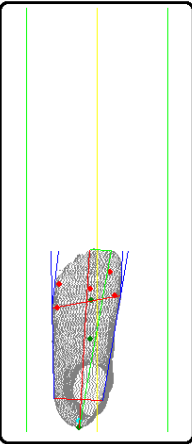
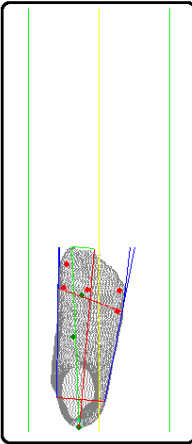
INFOOT Digital Scanning Interface 2007/10/08 19:56

iTouch ID: **7Q9V3FK01O7N**

Name: **LEONARDO MARTINEZ**

DESARROLLOS EN BIO MECÁNICA


Size	Left	Right
Foot length	189.7 mm	190.7 mm
Ball Girth circumference	175.8 mm	177.3 mm
Foot breadth	74.1 mm	74.7 mm
Instep circumference	177.9 mm	179.5 mm
Heel breadth	51.4 mm	51.2 mm
Instep length	142.7 mm	147.0 mm
Fibular Instep length	125.7 mm	126.2 mm
Height of Top of Ball Girth	27.5 mm	25.7 mm
Height of Instep	45.4 mm	45.4 mm
Toe #1 angle	6.5 °	3.2 °
Toe #5 angle	7.2 °	4.5 °
Height of Toe 1 joint	15.2 mm	16.0 mm
Height of Toe 5 joint	15.7 mm	16.0 mm
Angle of heel bone	8.5 °	9.3 °
Foot size	--.--	--.--

Menu

3D form Landmarks Cross Section

Save Print Back



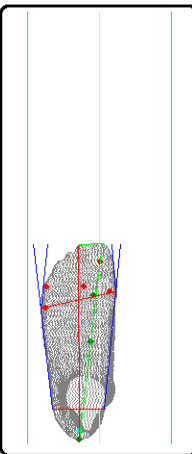
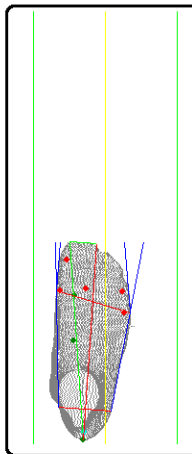
INFOOT Digital Scanning Interface 2007/10/08 19:51

iTouch ID: **7Q9V3FK01O7H**

Name: **ALEJANDRO KATO**

DESARROLLOS EN BIO MECÁNICA


Size	Left	Right
Foot length	203.9 mm	204.5 mm
Ball Girth circumference	193.4 mm	195.8 mm
Foot breadth	80.5 mm	81.5 mm
Instep circumference	198.4 mm	202.5 mm
Heel breadth	54.0 mm	54.6 mm
Instep length	154.0 mm	153.7 mm
Fibular Instep length	137.5 mm	135.4 mm
Height of Top of Ball Girth	29.3 mm	30.9 mm
Height of Instep	47.5 mm	48.8 mm
Toe #1 angle	10.7 °	6.3 °
Toe #5 angle	11.8 °	15.8 °
Height of Toe 1 joint	17.0 mm	17.6 mm
Height of Toe 5 joint	13.9 mm	16.6 mm
Angle of heel bone	7.0 °	6.9 °
Foot size	--.--	--.--

Menu

3D form Landmarks Cross Section

Save Print Back



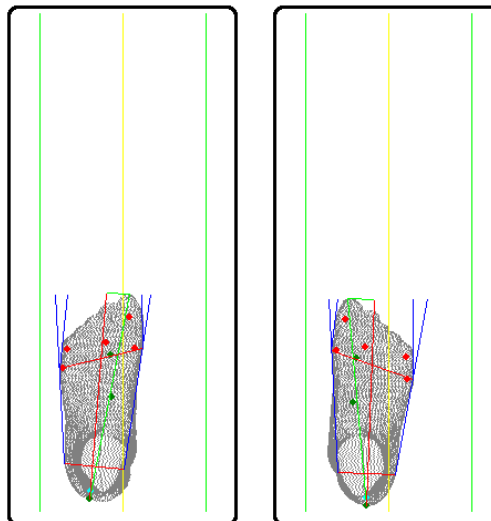
2007/10/08 19:45

iTouch ID: **7Q9V3FK0107Y**

Name: **MARIANA GONZALEZ**

DESARROLLOS EN BIO MECÁNICA

Size	Left	Right
Foot length	187.4 mm	186.2 mm
Ball Girth circumference	185.5 mm	187.6 mm
Foot breadth	77.8 mm	79.0 mm
Instep circumference	181.0 mm	182.8 mm
Heel breadth	53.7 mm	51.6 mm
Instep length	139.7 mm	139.5 mm
Fibular Instep length	115.7 mm	115.8 mm
Height of Top of Ball Girth	29.8 mm	28.9 mm
Height of Instep	45.7 mm	47.4 mm
Toe #1 angle	8.3 °	9.5 °
Toe #5 angle	9.4 °	11.1 °
Height of Toe 1 joint	19.1 mm	17.8 mm
Height of Toe 5 joint	16.2 mm	16.4 mm
Angle of heel bone	8.7 °	8.5 °
Foot size	---	---



Menu

3D form

Landmarks

Cross Section

Save

Print

Back



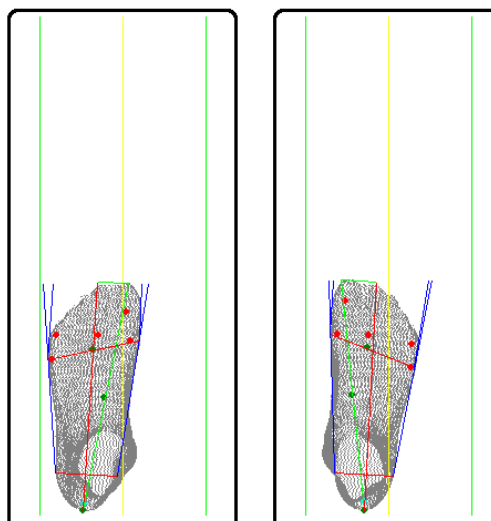
2007/10/08 19:58

iTouch ID: **7Q9V3FK0107C**

Name: **ULISES SUAREZ**

DESARROLLOS EN BIO MECÁNICA

Size	Left	Right
Foot length	207.2 mm	206.6 mm
Ball Girth circumference	201.1 mm	198.2 mm
Foot breadth	84.4 mm	83.6 mm
Instep circumference	192.0 mm	191.4 mm
Heel breadth	55.5 mm	52.7 mm
Instep length	155.6 mm	158.0 mm
Fibular Instep length	134.5 mm	131.5 mm
Height of Top of Ball Girth	28.6 mm	29.4 mm
Height of Instep	49.0 mm	51.8 mm
Toe #1 angle	7.0 °	5.2 °
Toe #5 angle	7.9 °	3.2 °
Height of Toe 1 joint	17.6 mm	16.7 mm
Height of Toe 5 joint	14.6 mm	17.1 mm
Angle of heel bone	8.6 °	9.8 °
Foot size	---	---



Menu

3D form

Landmarks

Cross Section

Save

Print

Back



INFOOT Digital Scanning Interface
2007/10/08 20:02

iTouch ID: 7Q9V3FK01070
Name: MARIA-JOSE LOPEZ

DESARROLLOS EN BIO MECÁNICA

Size	Left	Right
Foot length	183.9 mm	186.1 mm
Ball Girth circumference	182.0 mm	183.5 mm
Foot breadth	75.1 mm	76.6 mm
Instep circumference	188.9 mm	187.9 mm
Heel breadth	48.7 mm	50.0 mm
Instep length	140.3 mm	142.7 mm
Fibular Instep length	126.2 mm	122.3 mm
Height of Top of Ball Girth	30.2 mm	29.5 mm
Height of Instep	53.6 mm	51.0 mm
Toe #1 angle	4.7 °	5.5 °
Toe #5 angle	14.4 °	12.4 °
Height of Toe 1 joint	17.7 mm	15.5 mm
Height of Toe 5 joint	15.8 mm	16.1 mm
Angle of heel bone	11.5 °	9.8 °
Foot size	- - -	- - -

Menu
3D form
Landmarks
Cross Section

Save
Print
Back